



# PRIKAZI br. 34

## REVIEWS N° 34

PRAĆENJE I OCJENA KLIME U 2022. GODINI  
CLIMATE MONITORING AND ASSESSMENT FOR 2022



**DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD**  
CROATIAN METEOROLOGICAL AND HYDROLOGICAL SERVICE

[www.meteo.hr](http://www.meteo.hr)

Fotografiju na naslovnici snimio Ivan Lukac  
Front cover photo by Ivan Lukac



UDK 551.582  
HS 97-0331

ISSN 1331-775X

# **PRIKAZI br. 34**

## **REVIEWS N° 34**

**PRAĆENJE I OCJENA KLIME U 2022. GODINI**

**CLIMATE MONITORING AND ASSESSMENT FOR 2022**

Zagreb, prosinac 2023.  
Zagreb, December 2023

Izdavač                      Publisher  
Državni hidrometeorološki zavod      Meteorological and Hydrological Service

Za izdavača                      For the Publisher  
dr. sc. Branka Ivančan-Picek      Branka Ivančan-Picek, PhD

Urednice                      Editors  
mr. sc. Melita Perčec Tadić      Melita Perčec Tadić, MSc  
dr. sc. Tanja Likso                  Tanja Likso, PhD

Grafičko-tehnički urednik      Graphic and technical editor  
Ivan Lukac                          Ivan Lukac

Suradnici                      Collaborators  
dr. sc. Mislav Anić                  Mislav Anić, PhD  
dr. sc. Ksenija Cindrić Kalin      Ksenija Cindrić Kalin, PhD  
mr. sc. Lidija Cvitan                  Lidija Cvitan, MSc  
Ivana Havrle Kozarić                  Ivana Havrle Kozarić  
Tomislava Hojsak                      Tomislava Hojsak  
Lovro Kalin                              Lovro Kalin  
Tomislav Kozarić                      Tomislav Kozarić  
dr. sc. Tanja Likso                      Tanja Likso, PhD  
Ivan Lončar-Petrinjak                  Ivan Lončar-Petrinjak  
Vjeran Magjarević                      Vjeran Magjarević  
Ivana Marinović                          Ivana Marinović  
Krunoslav Mikec                          Krunoslav Mikec  
dr. sc. Petra Mikuš Jurković          Petra Mikuš Jurković, PhD  
Marija Mokorić                          Marija Mokorić  
Leonardo Patalen                          Leonardo Patalen  
mr. sc. Melita Perčec Tadić          Melita Perčec Tadić, MSc  
Dunja Plačko-Vršnak                      Dunja Plačko-Vršnak  
dr. sc. Tanja Renko                      Tanja Renko, PhD  
mr. sc. Lidija Srnec                      Lidija Srnec, MSc  
Matea Štibuhar                          Matea Štibuhar  
dr. sc. Tatjana Vujnović                  Tatjana Vujnović, PhD

Recenzenti                      Reviewers

Lektorica za engleski jezik      English proofreader  
Ana Levak                                  Ana Levak

Lektorica za hrvatski jezik      Croatian proofreader  
Martina Pavić                              Martina Pavić

## PREDGOVOR

Preliminarna analiza 2022. godine zasniva se na podacima od siječnja do rujna 2022. (WMO, 2023). U analizi je primijenjeno šest skupova podataka koji 2022. godinu svrstava kao petu ili šestu najtopliju godinu od 1850. i neznatno topliju od 2021. godine. Posljednjih osam godina, od 2015. do 2022., vjerojatno je osam najtoplijih godina zabilježenih u svim skupovima podataka.

Kao i 2021., i 2022. godina pokazuje jasan učinak hlađenja zbog prisutnih uvjeta La Niña, koju karakteriziraju ispodprosječne temperature površine mora u središnjem i istočnom tropskom Pacifiku i jačanje pasata, pa najčešće utječe na privremeno smanjenje globalne temperature. Godina 2016., koja je započela tijekom snažnog El Niña (ekvatorijalno područje pozitivnih anomalija površinske temperature Tihog oceana), uz anomaliju od 1,28 [od 1,15 do 1,40] °C, ostaje najtoplija godina zabilježena u većini analiziranih skupova podataka.

Prizemne temperaturne anomalije u 2022. godini nisu bile svuda jednake. Većina kopnenih i oceanskih površina u analiziranom razdoblju bila je toplija od prosjeka (1981. – 2010.). Područja neuobičajene topline tijekom godine uključivala su iznimno visoke ljetne prosječne temperature nad zapadnom Euroazijom i dijelovima istočne Azije. Iznimno vruće i mjestimice sušno vrijeme zahvatilo je Kinu, Europu i sjevernu Afriku tijekom ljeta 2022. Rekordni toplinski valovi zabilježeni su u Kini i Europi tijekom ljeta, mjestimično s iznimno suhim uvjetima. Kina je imala na najvećem području i najdugotrajniji toplinski val od početka bilježenja nacionalnih rekorda, koji se protezao od sredine lipnja do kraja kolovoza i rezultirao najtoplijim zabilježenim ljetom. To je također bilo drugo najsuše ljeto u povijesti u većem dijelu južne polovine Kine koja je imala sezonsku količinu oborine 20 % do 50 % ispod prosjeka. Predmonsunsko razdoblje bilo je iznimno vruće u Indiji i Pakistanu. Pakistan je imao najtopliji ožujak i travanj u povijesti. Uvjeti hladniji od prosjeka zahvatili su Kanadu, južnu Afriku i južni dio Južne Amerike, a Urugvaju je od siječnja do rujna zabilježio najhladnije razdoblje od 1988. godine. Hladniji od prosječnih uvjeta u tropskom Pacifiku povezani su s prisutnom La Niñom, a s njom su u vezi i uvjeti topliji od prosječnih uvjeta u području oko „hladnog jezika“ La Niña, koje se proteže od sjevernog Pacifika, duž zapadnog ruba Pacifika prema južnom Pacifiku.

Ukupna količina oborine u 2022. godini bila je iznad višegodišnjeg prosjeka za referentno razdoblje 1951. – 2000. u sjeveroistočnoj Aziji, zapadnom indijskom ljetnom monsunskom području, jugoistočnoj Aziji, na Maritimnom kontinentu (među ostalim zemljama uključuje Indoneziju, Filipine i Papua Novu Gvineju smještene između Indijskog i Tihog oceana u toploj oceanskoj regiji poznatoj kao Tropski topli bazen), u Australiji, na Novom Zelandu, u područjima sjeverne Južne Amerike, dijelovima Sjeverne Amerike i Kariba, zapadnoj Africi, Sudanu, obalnim područjima koja se protežu od zapadne Libije do Egipta i na južnom Arapskom poluotoku uključujući Ujedinjene Arapske Emirate, Oman i Jemen. Početak indijskog monsuna u 2022. je bio raniji, a njegovo povlačenje dogodilo se kasnije nego što je uobičajeno. Stoga je veći dio indijskog potkontinenta imao visoku ukupnu količinu oborine, a monsun se proširio zapadnije nego inače prema Pakistanu, gdje su nastale velike poplave.

## PREFACE

The preliminary analysis of 2022 is based on data spanning the period from January to September 2022 (WMO, 2023). The analysis used six data sets that rank 2022 as the fifth or sixth warmest year on record (since 1850) and in each case slightly warmer than 2021. The last eight years, from 2015 to 2022, are likely the eight warmest years on record in all data sets.

The year 2022, like 2021, shows a clear cooling effect due to the presence of La Niña conditions. La Niña is characterized by below-average sea surface temperatures in the central and eastern tropical Pacific and strengthening of the trade winds, and therefore usually results in a temporary decrease in global temperatures. The year 2016, which began during an exceptionally strong El Niño (equatorial area of positive Pacific surface temperature anomalies), remains the warmest year on record globally (with an anomaly of 1.28 [1.15 to 1.40] °C) in most of the data sets surveyed.

Surface temperature anomalies were not the same everywhere in 2022. Most of the land and ocean surfaces in the analyzed period of 2022 were warmer than the 1981-2010 average. Areas of unusual warmth during the year included the exceptionally high summer-average temperatures over western Eurasia and parts of eastern Asia. Exceptionally hot and, in places, dry conditions affected China, Europe and North Africa during the summer. Record breaking heatwaves affected China and Europe during the summer, coupled with exceptionally dry conditions in some places. China had the most extensive and long-lasting heatwave on national record, extending from mid-June to the end of August and resulting in the hottest summer on record. It was also the second-driest summer on record, with most of the southern half of China having seasonal rainfall 20 % to 50 % below average. The pre-monsoon period was exceptionally hot in India and Pakistan. Pakistan had its hottest March and hottest April on record. Colder than average conditions affected Canada, southern Africa, and southern South America, with Uruguay recording its coldest period from January to September since 1988. Cooler than average conditions in the tropical Pacific are associated with the ongoing La Niña as are the warmer than average conditions in an area surrounding La Niña's "cold tongue", running from the north Pacific, along the western rim of the Pacific, and down into the south Pacific.

Precipitation totals in 2022 were above the multianual average in northeast Asia, the western Indian summer monsoon region, southeast Asia, the Maritime Continent (including Indonesia, the Philippines and Papua New Guinea, among other countries, and located between the Indian and Pacific Oceans, within the warm ocean region known as the Tropical Warm Pool), Australia, New Zealand, areas of northern South America, parts of North America and the Caribbean, west Africa, Sudan, coastal areas extending from western Libya to Egypt, and the southern Arabian Peninsula including UAE, Oman and Yemen. Indian Monsoon onset came earlier in 2022, and the withdrawal was later than normal. The majority of the Indian Subcontinent received high precipitation totals and the monsoon extended farther westward than usual towards Pakistan, where was extensive flooding.

Regions with a marked precipitation deficit in 2022 included Europe, Central Asia, Northern Australia, Eastern Africa, most of North Africa, central and southern South America, and central and western North America. In east-

Regije s izraženim deficitom oborine u 2022. godini uključivale su: Europu, središnju Aziju, sjevernu Australiju, istočnu Afriku, većinu sjeverne Afrike, središnju i južnu Južnu Ameriku te središnju i zapadnu Sjevernu Ameriku. U istočnoj Africi oborine su bile ispod prosjeka u četiri uzastopne kišne sezone, što je najdulji slijed u 40 godina s prvim pokazateljima da bi i sezona 2022. mogla biti sušnija od prosjeka.

Godina 2022. bila je ekstremno topla na 95,0 % teritorija Republike Hrvatske, a vrlo topla na 5,0 % teritorija. Oborinske prilike bile su normalne na 72,4 % teritorija, dok je na 21,1 % teritorija bilo sušno, a na 6,5 % vrlo sušno.

Hrvatsku su 2022. godine obilježile i ekstremne vremenske prilike. Dugotrajan manjak oborine tijekom 2022. rezultirao je sušom na širem području Hrvatske koja je uzrokovala velike gubitke osobito u poljoprivredi. Zabilježeni su i izrazito niski vodostaji rijeka, manjih jezera i potoka kao i podzemnih voda. Olujno nevrijeme praćeno vjetrovom, kišom i tučom u poslijepodnevnom i večernjim satima 25. svibnja 2022. zahvatilo je nekoliko hrvatskih županija, ponajviše u sjeverozapadnoj Hrvatskoj, a nije zaobišlo ni dio Slavonije. Oluja je najviše problema izazvala u dijelovima Krapinsko-zagorske, Varaždinske, Međimurske, Koprivničko-križevačke i Sisačko-moslavačke županije. Na stradalom području u općini Veliki Bukovec padala je tuča čak i veličine teniske loptice. Na području općine smješteno je približno 50 % hrvatske proizvodnje cvijeća. Zabilježena je znatna šteta na objektima i vozilima, a posebice na plasticima, staklenicima i poljoprivrednim kulturama te drugoj imovini. Oko ponoći 27. svibnja 2022. grmljavinsko nevrijeme (jak vjetar i obilna oborina) zahvatilo je sjeverozapadni dio Hrvatske – dio Međimurske, Varaždinske, Bjelovarsko-bilogorske i Koprivničko-križevačke županije. Nevrijeme je kasnije pogodilo i istočni dio Hrvatske. Vjetar je rušio stabla i javnu rasvjetu, potopljeni su podvožnjaci. Nevrijeme s olujnim i orkanskim vjetrovom, pljuskovima i tučom 15. rujna 2022. zahvatilo je područje od Čazme do Grubišnog Polja te prouzročilo velike štete u naseljima, a osobito u šumskim predjelima. U razdoblju od 16. od 18. rujna 2022. obilna oborina pogodila je Gorski kotar, središnju Hrvatsku i zapadnu Slavoniju, a u nekim mjestima prouzročila je veliku materijalnu štetu. Gorski kotar suočavao se s rekordnim dnevnim količinama oborine za rujna koje su donijele visok vodostaj Kupe i pritoka, poplave, odrone te klizišta na području Kupske doline (zemljopisno područje gornjeg sjevernog toka rijeke Kupe u Gorskom kotaru), Ogulina, Karlovca, Ozlja i okolice. Povijesne rekorde premašio je vodostaj Kupe, čije su vode s njezinim pritocima na području Kupske doline nosile sve pred sobom. Odroni, uništene ceste, odsječena mjesta u Kupskoj dolini, poplavljeni podrumi i prizemlja obiteljskih kuća prizori su koje su za sobom ostavile nabujale vode Kupe i njezinih pritoka. Bujična i urbana poplava dogodila se 28. rujna 2022. u Rijeci. U večernjim satima počela je padati jaka kiša koja je potopila središte grada. Na području središta grada i širem području Rijeke poplavljeno je više stambenih i poslovnih objekata te uništeno više vozila. Tijekom nevremena jedna je osoba smrtno stradala. Dana 22. studenog 2022. olujno jugo s orkanskim udarima, kiša i visoka plima prouzročili su plavljenje riva duž jadranske obale. Vjetar je rušio stabla i suhozide te prouzročio značajnu materijalnu štetu.

dr. sc. Branka Ivančan-Picek

ern Africa, precipitation has been below average for four consecutive wet seasons, the longest sequence in 40 years with early indications that the 2022 season could also be drier than average.

The year 2022 was extremely warm in 95.0 % of Croatian territory and very warm in 5.0 % of the territory. Precipitation conditions were normal in 72.4 % of Croatian territory, while 21.1 % experienced dry, and 6.5 % experienced very dry conditions.

Extreme weather events were also characteristic of the year 2022. Multiannual lack of precipitation in 2022 resulted in a drought in most of Croatian territory that caused substantial losses, especially in agriculture. Extremely low water levels of rivers, smaller lakes and streams, and underground water were recorded. A severe weather accompanied by wind, rain and hail hit several Croatian counties, mainly in northern Croatia, but also in parts of Slavonia, on the afternoon and evening of 25 May 2022. The storm caused the most problems in parts of Krapina-Zagorje, Varaždin, Međimurje, Koprivnica-Križevci, and Sisak-Moslavina counties. Hailstones as big as a tennis ball were reported in the affected area in the municipality of Veliki Bukovec, which is home to approximately 50 % of Croatian floriculture production. Buildings and vehicles, especially greenhouses, plastic greenhouses, crops and other properties suffered severe damage. A thunderstorm (strong wind and heavy rain) struck the northwestern part of Croatia around midnight on 27 May 2022, including parts of Međimurje, Varaždin, Bjelovar-Bilogora and Koprivnica-Križevci counties, and later also eastern parts of Croatia. Trees and lamp posts were felled by strong winds, and underpasses were flooded. On 15 September 2022, the Čazma-Grubišno Polje area experienced severe weather accompanied by gale force wind and storm, rain showers and hail, which caused substantial damage in residential areas, and especially in forest areas. Heavy rain fell in Gorski Kotar, central Croatia and western Slavonia in the period 16-18 September 2022, causing significant material damage in some places. Gorski Kotar faced highest daily precipitation amounts on record for September. The area faced high water levels of the Kupa and its tributaries, floods, landslides in the Kupa Valley, Ogulin, Karlovac, Ozalj and its surroundings, etc. The water levels of the Kupa exceeded historical records, and waters of the Kupa and its tributaries carried away everything in their path in the Kupa Valley, leaving behind landslides, destroyed roads, flooded basements and ground floors of family houses, and cutting off places in the Kupa Valley. Rijeka was hit by a flash and urban flood on 28 September 2022, when it began to rain heavily in the evening, flooding the city center. Several residential and commercial buildings were flooded, and several vehicles were destroyed in the city center and the wider Rijeka area. Sadly, the storm also took one human life. Waterfronts along the Adriatic Coast were flooded on 22 November 2022 due to jugo of gale force with severe gusts of jugo wind, rain, and high tide. The wind felled trees and destroyed dry stone walls, causing substantial material damage.

Branka Ivančan-Picek, PhD

## SADRŽAJ

1.	PRAĆENJE KLIME U HRVATSKOJ .....	9
1.1	Kartografski prikaz mjesečnih, sezonskih i godišnjih klasa anomalija temperature zraka i količine oborine za 2022. godinu .....	12
1.2	Ocjena temperaturnih i oborinskih prilika za 2022. godinu .....	21
1.3	Ekstremna klimatska razdoblja u 2022. godini .....	26
1.4	Rangovi temperature i oborine u 2022. godini .....	26
2.	ANALIZA SREDNJEG MJESEČNOG VISINSKOG STRUJANJA IZNAD HRVATSKE U 2022. GODINI .....	40
3.	ANALIZA RANGOVA I TRENDOVA SREDNJIH GODIŠNJIH TEMPERATURA ZRAKA I GODIŠNJIH KOLIČINA OBORINE ZA POSTAJE ZAGREB-MAKSIMIR I SPLIT-MARJAN U 2022.GODINI .....	47
4.	ANALIZA DNEVNIH ANOMALIJA TEMPERATURE ZRAKA I KOLIČINE OBORINE ZA POSTAJE ZAGREB-MAKSIMIR I SPLIT-MARJAN U 2022. GODINI .....	50
5.	IZVANREDNI METEOROLOŠKI DOGAĐAJI U HRVATSKOJ U 2022. GODINI .....	53
5.1	Sažetak izvanrednih događaja .....	53
5.2	Meteorološka i hidrološka ocjena suše 2022. godine .....	56
5.3	Nevrijeme s obilnom tučom u Hrvatskom zagorju i na karlovačkom području 2. lipnja 2022. ....	64
5.4	Toplinski valovi tijekom ljeta 2022. ....	72
5.5	Grmljavinsko nevrijeme u Bjelovarsko-bilogorskoj županiji 15. rujna 2022. ....	78
5.6	Bujična i urbana poplava u Rijeci 28. rujna 2022. Sinoptička i mezoskalna analiza .....	84
	Hidrološka analiza .....	88
	Klimatološka analiza .....	89

## TABLE OF CONTENTS

1.	CLIMATE MONITORING IN CROATIA .....	9
1.1	Maps of monthly, seasonal and annual anomaly classes of air temperature and precipitation amounts in 2022 .....	12
1.2	Assessment of temperature and precipitation conditions in 2022.....	21
1.3	Extreme climate periods in 2022 .....	26
1.4	Temperature and precipitation ranks in 2022 .....	26
2.	ANALYSIS OF THE MEAN MONTHLY UPPER-AIR FLOW OVER CROATIA IN 2022 .....	40
3.	ANALYSIS OF MEAN ANNUAL AIR TEMPERATURE AND ANNUAL PRECIPITATION AMOUNT RANKS AND TRENDS FOR ZAGREB-MAKSIMIR AND SPLIT-MARJAN STATIONS IN 2022 .....	47
4.	ANALYSIS OF MEAN DAILY AIR TEMPERATURE ANOMALIES AND PRECIPITATION AMOUNTS FOR ZAGREB-MAKSIMIR AND SPLIT-MARJAN STATIONS IN 2022 .....	50
5.	EXTRAORDINARY METEOROLOGICAL EVENTS IN CROATIA IN 2022 .....	53
5.1	Summary of extraordinary events .....	53
5.2	Meteorological and hydrological assessment of drought in 2022 .....	56
5.3	Severe thunderstorm and hail in Hrvatsko Zagorje and in the Karlovac region, 2 June 2022 .....	64
5.4	Heat waves in the summer of 2022 .....	72
5.5	Thunderstorm in Bjelovar-Bilogora County on 15 September 2022 .....	77
5.6	Flash and urban flood in Rijeka on 28 September 2022 Synoptic and mesoscale analysis .....	84
	Hydrological analysis .....	88
	Climatological analysis .....	89



6.	OCJENA KLIME NA GLOBALNOJ LJESTVICI ZA 2022. GODINU (sažetak prema WMO Provisional State of the Global Climate 2022) .....	93
6.1	Površinska temperatura zraka .....	93
6.2	Oborina .....	95
6.3	Koncentracije stakleničkih plinova .....	96
6.4	Pohrana topline u oceane i porast morske razine .....	98
6.5	Arktik u 2022. godini .....	99
6.6	Literatura .....	101

6.	CLIMATE ASSESSMENT FOR THE YEAR 2022 ON GLOBAL SCALE (summary according to WMO Provisional State of the Global Climate 2022) .....	93
6.1	Surface air temperature .....	93
6.2	Precipitation .....	95
6.3	Greenhouse gases concentrations .....	96
6.4	Ocean heat content and sea level rise .....	98
6.5	The Arctic in 2022 .....	99
6.6	References .....	101

# 1. PRAĆENJE KLIME U HRVATSKOJ

Melita Perčec Tadić

U okviru mreže meteoroloških postaja u Hrvatskoj djeluje sustav za praćenje klime temeljen na svakodnevnom prikupljanju klimatoloških podataka (termini 7:00, 14:00 i 21:00) s 30 glavnih meteoroloških postaja (slika 1.1.).

Operativni sustav praćenja klime u Hrvatskoj ima sljedeće sastavnice:

- meteorološka motrenja (opažanja i mjerenja) na 30 glavnih meteoroloških postaja
- dostava klimatoloških podataka u HR-KLIMA izvješću svaki dan do 9 sati za klimatološke termine prethodnog dana
- kontrola podataka u DHMZ-u
- pohranjivanje podataka na računalnom sustavu DHMZ-a u obliku privremenih mjesečnih izvješća

# 1. CLIMATE MONITORING IN CROATIA

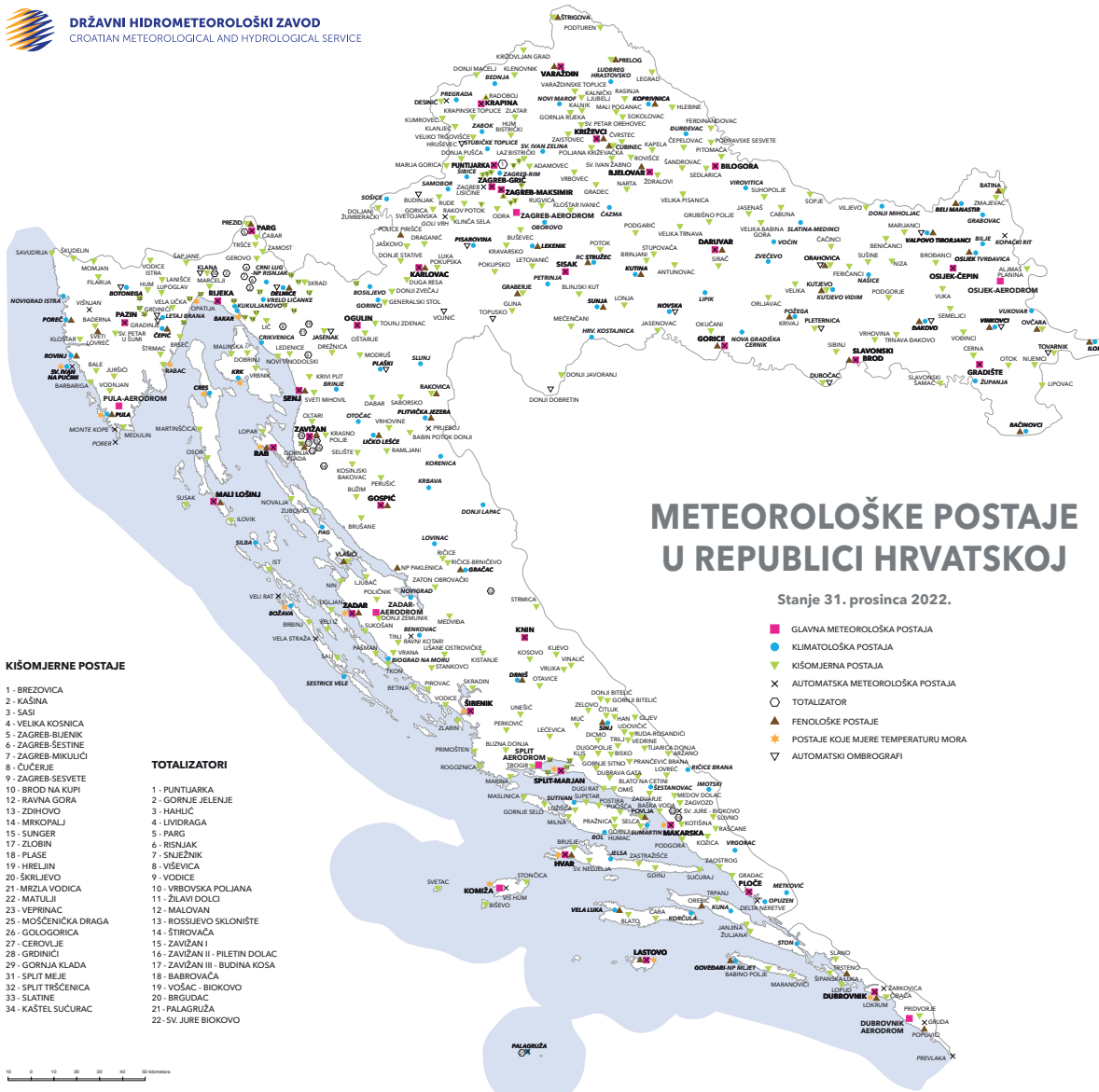
Melita Perčec Tadić

A climate monitoring system based on daily collection of climate data (observation times 7:00 am, 2:00 pm and 9:00 pm local time) from 30 main meteorological stations (Figure 1.1) is operational within the Meteorological Station Network of Croatia.

The operational climate monitoring system in Croatia has the following components:

- meteorological observations (observations and measurements) at 30 main meteorological stations,
- climate data delivery via HR-KLIMA reports by 9:00 am every day for climate observation times from the previous day,
- data quality control at the Croatian Meteorological and Hydrological Service,

**DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD**  
CROATIAN METEOROLOGICAL AND HYDROLOGICAL SERVICE



## METEOROLOŠKE POSTAJE U REPUBLICI HRVATSKOJ

Stanje 31. prosinca 2022.

- GLAVNA METEOROLOŠKA POSTAJA
- KLIMATOLOŠKA POSTAJA
- ▲ KIŠOMJERNA POSTAJA
- ⊗ AUTOMATSKA METEOROLOŠKA POSTAJA
- TOTALIZATOR
- ▲ FENOLOŠKE POSTAJE
- ★ POSTAJE KOJE MJERE TEMPERATURU MORA
- ▽ AUTOMATSKI OMBROGRAFI

**KIŠOMJERNE POSTAJE**


- 1 - BREŽOVICA
- 2 - KAŠINA
- 3 - SASI
- 4 - VELIKA KOSNIKA
- 5 - ZAGREB-BUENIK
- 6 - ZAGREB-ŠESTINE
- 7 - ZAGREB-MIKULIČI
- 8 - ČUČERJE
- 9 - ZAGREB-SESVETE
- 10 - BROD NA KUPI
- 11 - RAVNA GORA
- 12 - ZDHOVO
- 13 - MRKOPALI
- 14 - LIVDRAGA
- 15 - SUNGER
- 16 - ZLDBIN
- 17 - ZLDBIN
- 18 - PLASE
- 19 - HREMLIN
- 20 - SKRLEVO
- 21 - MRZLA VODICA
- 22 - MATULJI
- 23 - VEPRINAC
- 24 - MOŠČENIČKA DRAGA
- 25 - GOLOGORICA
- 26 - CEROVLE
- 27 - GRODINCI
- 28 - GORNJA KLADA
- 29 - GORNJA KLADA
- 30 - SPLIT MEJE
- 31 - SPLIT TRŠČENICA
- 32 - SPLIT TRŠČENICA
- 33 - SLATINE
- 34 - KAŠTEL SUĆURAC

**TOTALIZATORI**

- 1 - PUNTLJARICA
- 2 - GORNJE JELENJE
- 3 - HAHLIČ
- 4 - LIVDRAGA
- 5 - PARG
- 6 - RINJAK
- 7 - SNJEŽNIK
- 8 - VIŠEVICA
- 9 - VODICE
- 10 - VRSKOVA POLJANA
- 11 - ŽILAVI DOLCI
- 12 - MALOVAN
- 13 - ROŠUJEVO SKLONIŠTE
- 14 - STROVAČA
- 15 - ZAVIŽANI
- 16 - ZAVIŽANI II - PILETIN DOLAC
- 17 - ZAVIŽANI III - BUDINA KOSA
- 18 - BABROVAČA
- 19 - VOŠAC - BIKOVO
- 20 - BRGDUČAC
- 21 - PALAČIŠĆA
- 22 - SV. JURE BIKOVO

Slika 1.1. Mreža meteoroloških postaja u Hrvatskoj

Figure 1.1. Meteorological Station Network in Croatia


- mjesečne analize klimatoloških podataka s izradom ocjene za svaki mjesec usporedbom klimatoloških podataka određenog mjeseca s višegodišnjim prosjekom za razdoblje 1981. – 2010.
- ocjene klimatskih anomalija na razini godišnjih doba i godine kao cjeline
- redovito mjesečno, sezonsko i godišnje izvješćivanje javnosti, korisnika i stručnih krugova o ocjeni klime putem javnih glasila i stručnih biltena te internetske stranice DHMZ-a<sup>1</sup> i na službenom  profilu<sup>2</sup>.

Za klimatsku ocjenu primjenjuje se klasifikacijska skala s granicama određenim prema vrijednostima 2., 9., 25., 75., 91. i 98. percentila dobivenih iz teorijskih razdioba koje na najbolji način aproksimiraju osnovna obilježja svih podataka referentnog razdoblja (tablica 1.1).

Za ocjenu temperaturnih prilika upotrijebljena je aproksimacija podataka temperature zraka normalnom razdiobom, a za ocjenu oborinskih prilika primijenjena je normalna razdioba drugim korijenom (Cindrić i sur., 2019). Na osnovi tako dobivenih razdioba svakoj izmjerenoj vrijednosti može se pridružiti odgovarajuća teorijska kumulativna čestina ili percentil koji možemo interpretirati kao rang (ili redni broj mjesta) koji bi ta vrijednost imala u hipotetskom nizu od sto vrijednosti skupa koje ta razdioba opisuje. Percentilom P može se procijeniti povratni period T (izražen u godinama) iz relacije:

$$T = 100 / P \quad \text{ako je } P < 50$$

$$T = 100 / (100 - P) \quad \text{ako je } P > 50$$

- data archiving in the computer system of the Croatian Meteorological and Hydrological Service in the form of temporary monthly reports,
- monthly analyses of climate data, including an evaluation for each month based on a comparison of climate data for the month in question with the multiannual average for the period 1981-2010,
- climate anomaly assessment on seasonal or annual basis,
- regular monthly, seasonal and annual communication of climate assessment to the public, external users and the scientific community using the media and professional newsletters, as well as the website of the Croatian Meteorological and Hydrological Service<sup>1</sup> and official  account<sup>2</sup>

A classification scale is used for climate assessment, with the limits determined according to the following percentile values: 2<sup>nd</sup>, 9<sup>th</sup>, 25<sup>th</sup>, 75<sup>th</sup>, 91<sup>st</sup> and 98<sup>th</sup> (Table 1.1) obtained from theoretical distributions that best fit the reference period data: normal distribution for air temperature and square-root-normal distribution for precipitation (Cindrić et al. 2019). Theoretical cumulative frequency and percentiles can be estimated for each measured value using these distributions. Percentiles can be interpreted as a rank value in a hypothetical sequence of 100 values in the set described by the distribution. According to percentile P, the return period T (expressed in years) can be estimated from the expression:

$$T = 100 / P \quad \text{if } P < 50$$

$$T = 100 / (100 - P) \quad \text{if } P > 50$$

Tablica 1.1. Klasifikacija klimatskih anomalija u razrede (klase) prema razdiobi percentila.

Table 1.1. Climate anomaly classification according to percentile ranks and classification ratings.

Klase anomalija temperature zraka Anomaly classes of air temperature		Percentili Percentiles
ekstremno hladno	extremely cold	< 2
vrlo hladno	very cold	2 – 9
hladno	cold	9 – 25
normalno	normal	25 – 75
toplo	warm	75 – 91
vrlo toplo	very warm	91 – 98
ekstremno toplo	extremely warm	> 98

Klase anomalija količine oborine Anomaly classes of precipitation amount		Percentili Percentiles
ekstremno sušno	extremely dry	< 2
vrlo sušno	very dry	2 – 9
sušno	dry	9 – 25
normalno	normal	25 – 75
kišno	wet	75 – 91
vrlo kišno	very wet	91 – 98
ekstremno kišno	extremely wet	> 98

<sup>1</sup> <http://meteo.hr/klima.php>

<sup>2</sup> @DHMZ\_HR

Primjerice, 98. percentil upućuje na onu vrijednost koja je u višegodišnjem razdoblju premašena u 2 % slučajeva i može se očekivati prosječno jednom u 50 godina.

Osim prikaza percentila na lokacijama meteoroloških postaja važno je procijeniti vrijednosti na cijelom teritoriju, pa i na lokacijama na kojima nema mjerenja. Procjena percentila na lokaciji na kojoj nema mjerenja računa se kao otežani srednjak percentila okolnih postaja. Utjecaj percentila pojedine postaje definiran je težinskim faktorima, koji su u pravilu slabiji što je veća udaljenost mjerenja od lokacije za koju se izrađuje procjena. Kao i kod svake druge statističke metode procjene mogu biti izvan raspona vrijednosti mjerenja, što se katkad opaža na kartama, posebno kada je na pojedinoj postaji percentil vrlo blizu granične vrijednosti pojedine klase, a procjena može biti neznatno niža ili viša, čime ulazi u nižu ili višu klasu. Karte su izrađene kao rasteri prostorne rezolucije od jednog kilometra, a dopunjene su granicama županija (Državna geodetska uprava) i mjerilom.

Na kartama anomalija (poglavlje 1.1) postaje su označene simbolom u boji klase anomalije kojoj pripada određena temperatura ili količina oborine. Pokraj simbola nalazi se ime postaje i dvije brojčane vrijednosti. Gornji broj označava odstupanje meteorološkog elementa od višegodišnjeg prosjeka referentnog razdoblja 1981. – 2010., za temperaturu zraka izraženo u Celzijevim stupnjevima (°C), a za količinu oborine u postotcima (%) višegodišnjeg prosjeka. Primjerice, u klasi normalno mogu se pojaviti pozitivna ( $> 0$  °C) ili negativna ( $< 0$  °C) odstupanja temperature zraka od prosjeka ili odstupanja količine oborine iznad prosjeka ( $> 100$  %) ili ispod prosjeka ( $< 100$  %). Donji broj uz postaju na kartama označava percentil prema kojem se postaja svrstava u odgovarajuću klasu.

Rang meteorološke veličine poredak je te veličine u silaznom ili uzlaznom slijedu. Poredaju li se srednje temperature zraka uzlazno ili silazno, dobivaju se rangovi počevši od najhladnijeg ili najtoplijeg mjeseca, sezone ili godine. Poredaju li se količine oborine uzlazno ili silazno, dobivaju se rangovi od najsušnijeg ili najvlažnijeg mjeseca, sezone ili godine. Rang koji promatrana vrijednost ima u skupu svih višegodišnjih vrijednosti mjerenja omogućuje uvid u to je li ta vrijednost uobičajena ili označuje rijedak događaj. U 1. poglavlju detaljno ćemo opisati rangove za one mjesece odnosno sezone za koje je na većini postaja neki rang manji ili jednak pet, odnosno promatrano je razdoblje među pet najhladnijih, najtoplijih ili po količini oborine među pet najsušnijih ili najvlažnijih u nizu podataka od 1981. do analizirane godine. Rangovi godišnjih temperatura zraka i količina oborine prikazuju se u ocjeni svake godine počevši s 2021.

U 3. poglavlju rangovi su analizirani za meteorološke postaje Zagreb-Maksimir i Split-Marjan za cjelokupnu duljinu povijesnih nizova na tim postajama pa se mogu razlikovati od analize na kraćim vremenskim nizovima u 1. poglavlju.

Ondje su prikazane i dnevne temperature zraka analizirane godine uz srednje vrijednosti dnevnih temperatura zraka za razdoblje počevši od 1926. godine za Zagreb-Maksimir, odnosno 1948. za Split-Marjan do završno, godine koja prethodi godini analize. Ocjena izuzetnosti srednjih dnevnih temperatura zraka za svaki

For example, 98<sup>th</sup> percentile is the value which is exceeded in 2 % of the cases in a multiannual period and is associated with a 50-year return value.

In addition to displaying percentiles at meteorological station locations, it is important to estimate values throughout the territory, even in locations where there are no measurements. Those values are calculated as a weighted average of the percentiles from the surrounding stations. The influence of the percentile of an individual station is defined by weighting factors, whose strength generally declines as the distance between the measurement location and the location for which the assessment is being made increases. As with any other statistical method, estimates can be outside the range of measured values, which is sometimes observed on maps, especially when the percentile at one station is very close to the limit value of a particular class, and the estimate is slightly lower/higher, so it enters a lower/higher class. The maps were made as rasters with a spatial resolution of 1 km. They are supplemented by county borders (State Geodetic Administration) and a scale bar.

Climate anomaly maps (Section 1.1) show locations of the stations with symbol in colours illustrating the anomaly category of the temperature or precipitation in question. The name of the station and two numeric values are written next to the symbol.

The upper number describes the anomaly (deviation of the meteorological element from multiannual average), expressed in degrees Celsius (°C) for air temperatures, and in percentages (%) of the multiannual average for precipitation amounts. For example, air temperature anomalies that fall within the normal category can be positive ( $> 0$  °C) or negative ( $< 0$  °C), and precipitation amount anomalies can be above the multiannual average ( $>100$  %) or below the average ( $< 100$  %). The lower number in the maps for every station indicates the corresponding percentile.

The position of a meteorological parameter in a descending or ascending order is referred to as its rank. Ranks starting from the coldest/hottest month/season/year are obtained by arranging mean air temperatures in ascending/descending order. Ranks starting from the driest/wettest month/season/year are obtained by arranging precipitation amounts in ascending/descending order. Ranks allow us to estimate whether the measured value is a common or a rare event in comparison with the rest of the values in a long data series. In Section 1, we will describe in detail the ranks for months/seasons that have ranks lower than or equal to five in most stations, meaning that the period in question is among the five coldest/warmest or driest/wettest periods in the data series spanning the years from 1981 to the analysed year. The ranks of annual air temperatures and precipitation amounts are shown in the assessment for each year, starting with 2021.

In Section 3, the ranks were analysed for meteorological stations Zagreb-Maksimir and Split-Marjan over the complete length of historical data series at the stations in question and may differ from the analysis performed on shorter time series in Section 1.

Section 3 includes a presentation of daily air temperatures for the analysed year and mean daily air temperature values for the period starting with 1926 for Zagreb-Maksimir and 1948 for Split-Marjan and ending with the year preceding the year of analysis.

mjesec u godini temelji se na Chapmanovu kriteriju uz pretpostavku da se srednje dnevne temperature zraka za pojedini datum pokoravaju Gaussovoj razdiobi (Penzar i Makjanić, 1980). Prema Chapmanovu kriteriju izvanredno toplim smatra se dan u kojem pozitivna anomalija srednje dnevne temperature zraka premaši dvije standardne devijacije, dok se izvanredno hladnim smatra dan u kojem negativna anomalija premaši dvije standardne devijacije. Vjerojatnost pojave izvanredno toplih odnosno izvanredno hladnih dana jest oko 2 %, to jest takvi događaji pojavljuju se u prosjeku dva puta u razdoblju od 100 godina.

## Literatura

- Cindrić, K., Juras, J., Pasarić, Z. (2019) On precipitation monitoring with theoretical statistical distributions. *Theor Appl Climatol* 136, 145–156. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2477-6>
- Penzar, B., Makjanić, B. (1980) Osnovna statistička obrada podataka u klimatologiji. Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.

### 1.1 Kartografski prikaz mjesečnih, sezonskih i godišnjih klasa anomalija temperature zraka i količine oborine za 2022. godinu

Mjesečne, sezonske i godišnje karte sadržavaju brojčane vrijednosti anomalija i percentila na meteorološkim postajama, dok su simboli na lokacijama meteoroloških postaja u boji koja odgovara klasi anomalije kojoj pripada izmjerena temperatura zraka ili količina oborine. Anomalije temperature zraka izražene su u Celzijevim stupnjevima, a anomalije količine oborine u postotcima višegodišnjeg prosjeka za odabrano referentno razdoblje 1981. – 2010. Na karti su bojama prikazane klase anomalija interpolirane prema vrijednostima klasa na meteorološkim postajama

The evaluation extraordinarity of mean daily air temperatures for every month of the year is based on the Chapman's criterion and on the assumption that the mean daily air temperature for individual dates follows a Gaussian distribution (Penzar and Makjanić, 1980). Chapman's criterion defines an extraordinary warm day as a day with a positive mean daily air temperature anomaly exceeding two standard deviations, and an extraordinary cold day as a day with a negative anomaly exceeding two standard deviations. Extraordinary warm and extraordinary cold days have a probability of occurrence of around 2%, meaning that they on average occur twice in 100 years.

## References

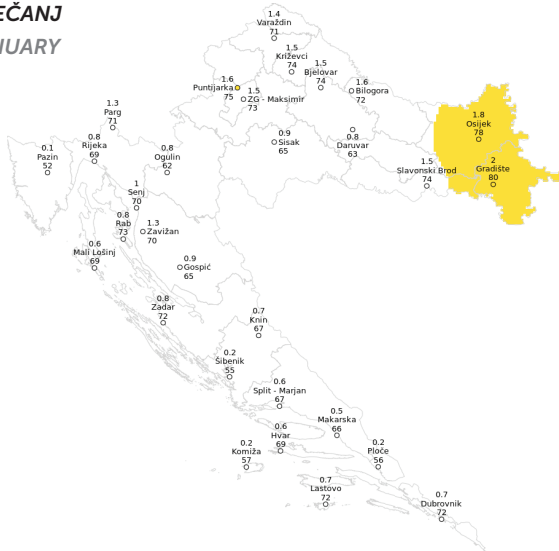
- Cindrić, K., Juras, J., Pasarić, Z. (2019) On precipitation monitoring with theoretical statistical distributions. *Theor Appl Climatol* 136, 145–156. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2477-6>
- Penzar, B., Makjanić, B. (1980) Osnovna statistička obrada podataka u klimatologiji. Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.

### 1.1 Maps of monthly, seasonal and annual anomaly classes of air temperature and precipitation amounts in 2022

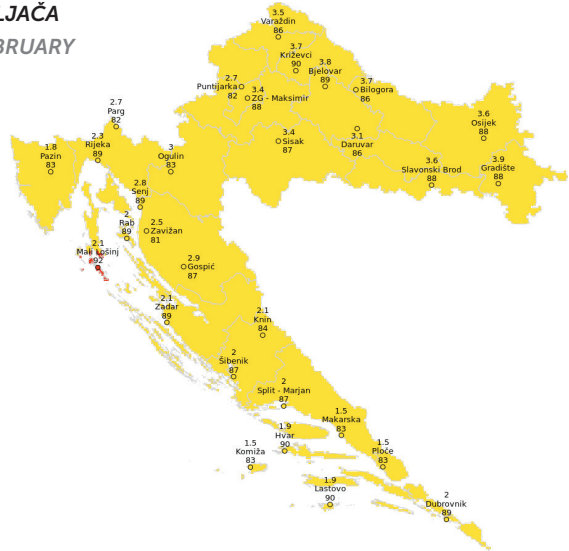
The monthly, seasonal and annual maps show numerical values of the anomalies and percentiles at the meteorological stations, while the symbols at the stations' locations are coloured according to the anomaly category of the measured air temperature or precipitation amount. Air temperature anomalies are expressed in °C and precipitation amount anomalies in percentage of the multiannual average for the reference period 1981-2010. Colours on the maps show the interpolated anomaly categories according to the categories at the meteorological stations.



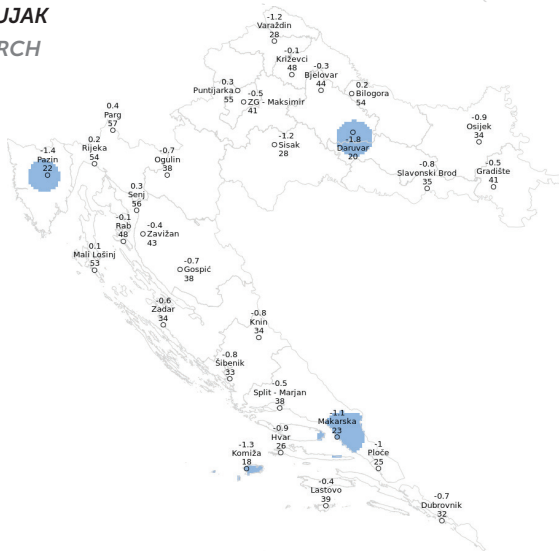
**SIJEČANJ**  
**JANUARY**



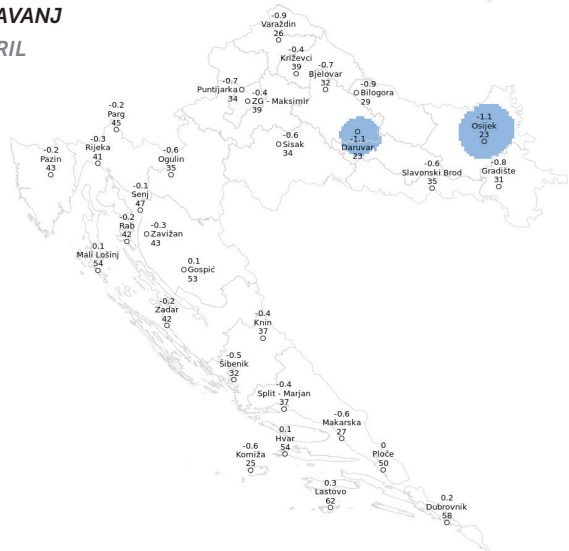
**VELJAČA**  
**FEBRUARY**



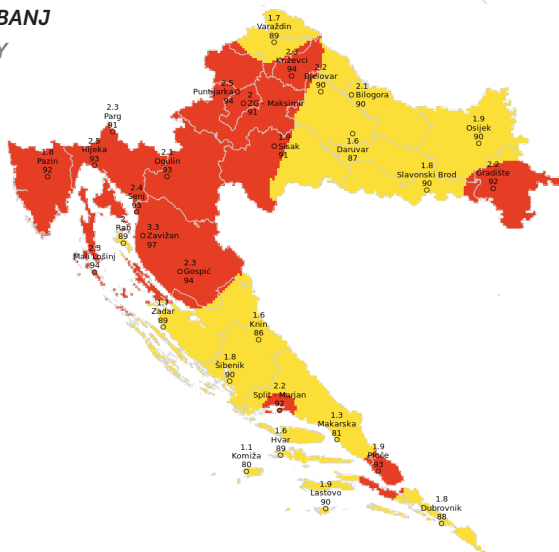
**OŽUJAK**  
**MARCH**



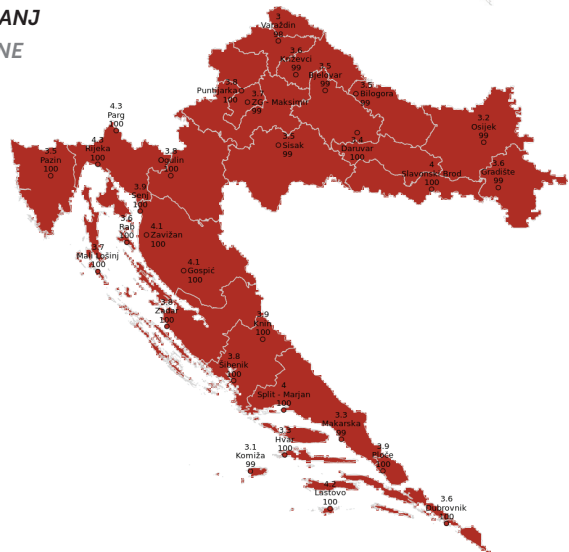
**TRAVANJ**  
**APRIL**



**SVIBANJ**  
**MAY**



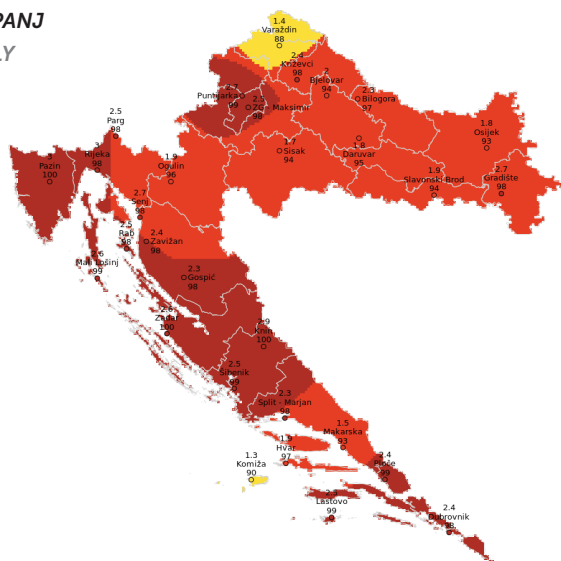
**LIPANJ**  
**JUNE**



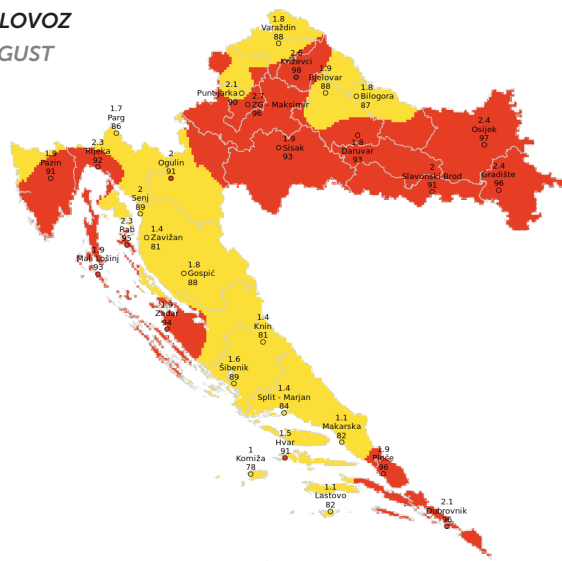
Slika 1.1.1.a Odstupanje srednje mjesečne temperature zraka (°C) od višegodišnjeg prosjeka za razdoblje 1981. – 2010. godina za Hrvatsku za 2022. godinu.

Figure 1.1.1.a Monthly mean air temperature anomalies in Croatia for 2022, relative to the multiannual average for the period 1981-2010

**SRPANJ**  
**JULY**



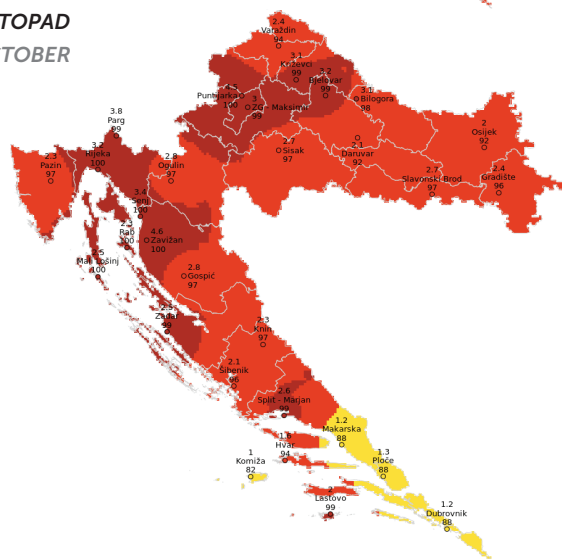
**KOLOVOZ**  
**AUGUST**



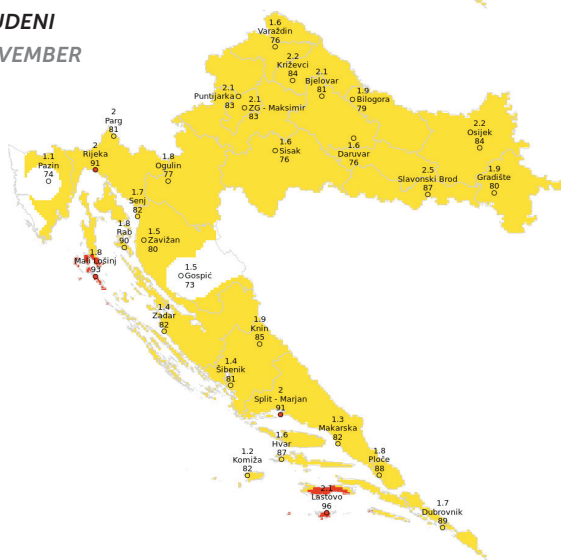
**RUJAN**  
**SEPTEMBER**



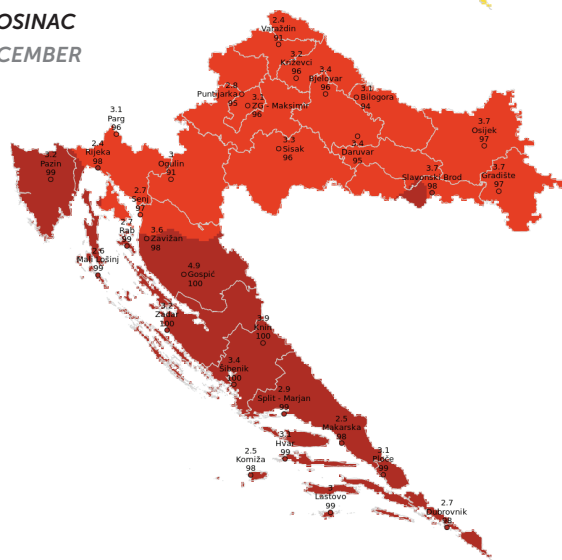
**LISTOPAD**  
**OCTOBER**



**STUDENI**  
**NOVEMBER**



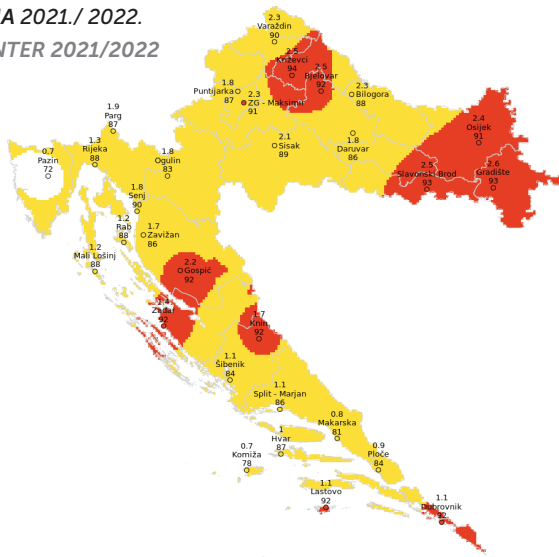
**PROSINAC**  
**DECEMBER**



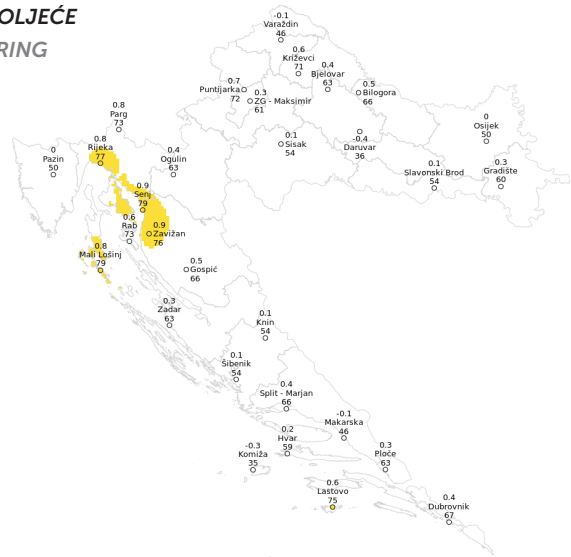
Slika 1.1.1.b Odstupanje srednje mjesečne temperature zraka (°C) od višegodišnjeg prosjeka za razdoblje 1981. – 2010. godina za Hrvatsku za 2022. godinu.

Figure 1.1.1.b Monthly mean air temperature anomalies in Croatia for 2022, relative to the multiannual average for the period 1981-2010

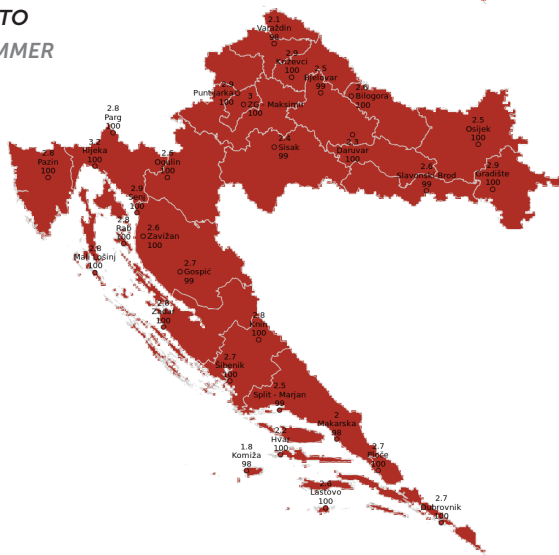
**ZIMA 2021./ 2022.**  
**WINTER 2021/2022**



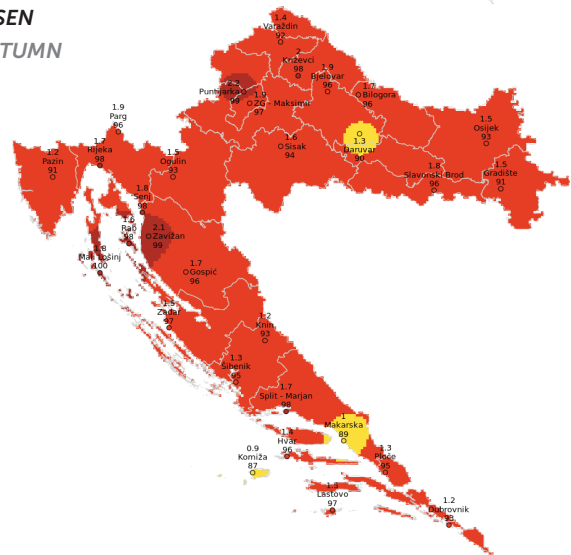
**PROLJEĆE**  
**SPRING**



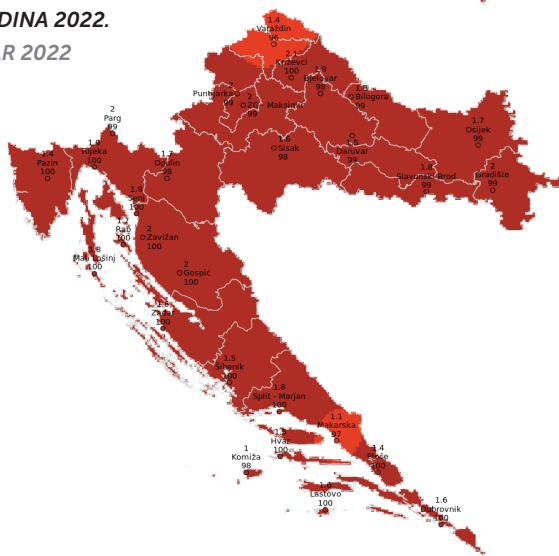
**LJETO**  
**SUMMER**



**JESEN**  
**AUTUMN**



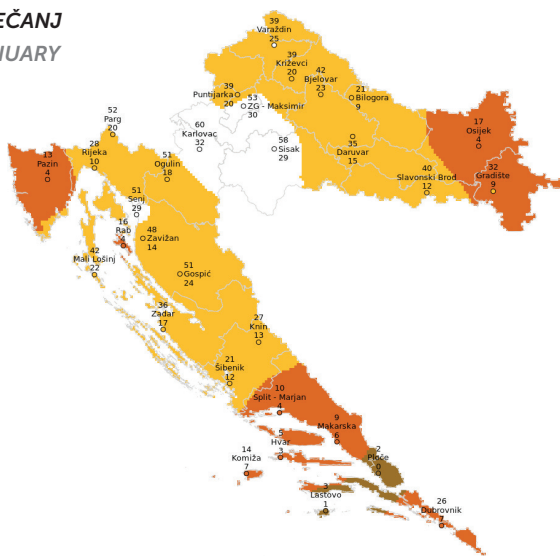
**GODINA 2022.**  
**YEAR 2022**



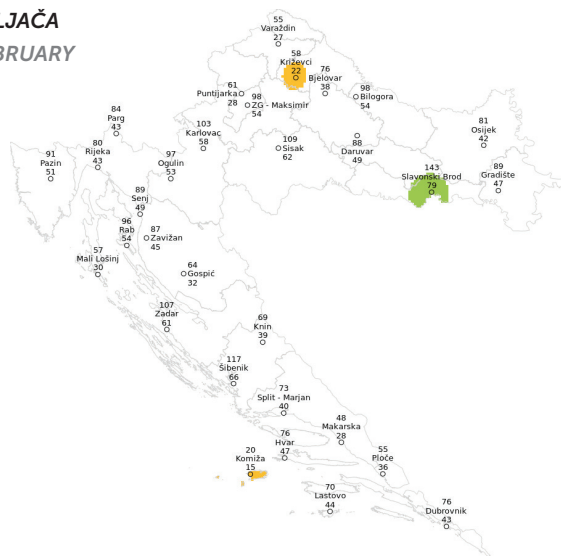
Slika 1.1.2. Odstupanje srednje sezonske i godišnje temperature zraka (°C) od višegodišnjeg prosjeka za razdoblje 1981. – 2010. godina za Hrvatsku za 2022. godinu.

Figure 1.1.2. Mean seasonal and annual air temperature anomalies in Croatia, relative to the multiannual average for the period 1981-2010 for 2022.

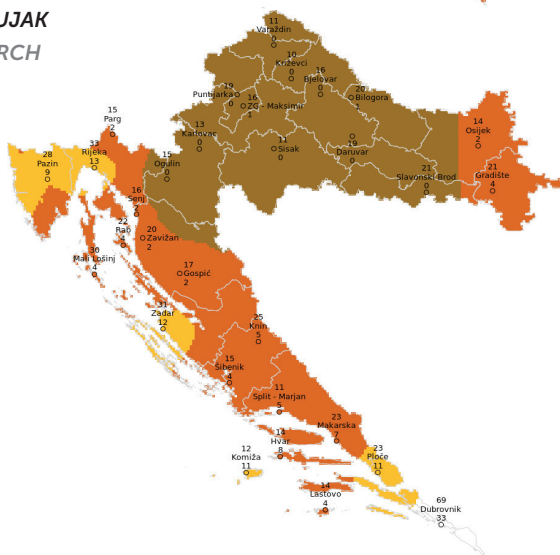
**SIJEČANJ**  
JANUARY



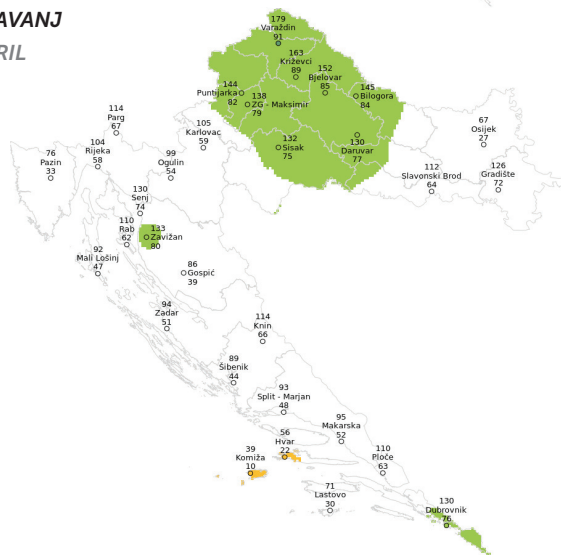
**VELJAČA**  
FEBRUARY



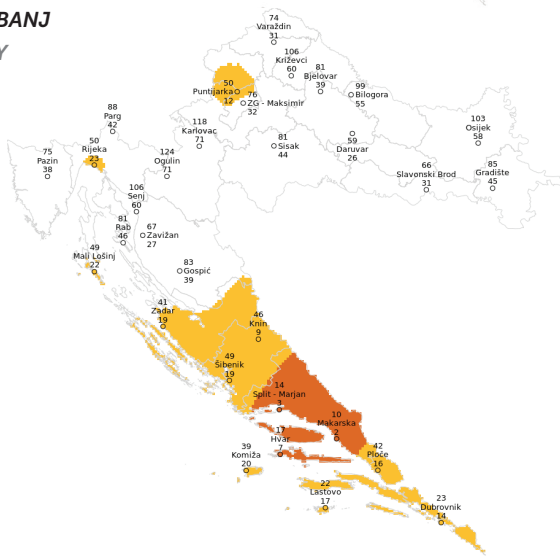
**OŽUJAK**  
MARCH



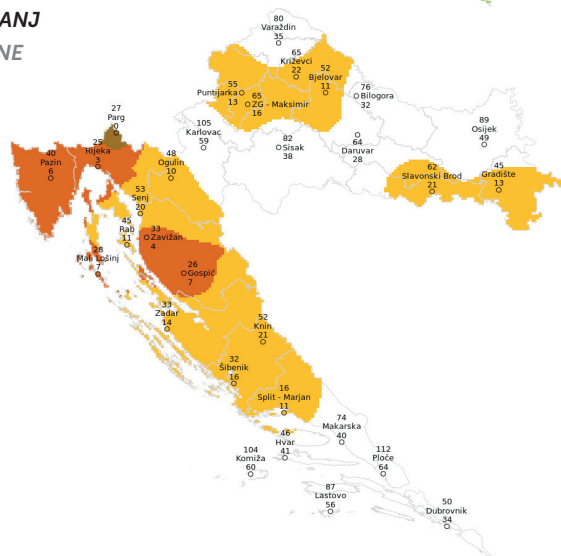
**TRAVANJ**  
APRIL



**SVIBANJ**  
MAY



**LIPANJ**  
JUNE



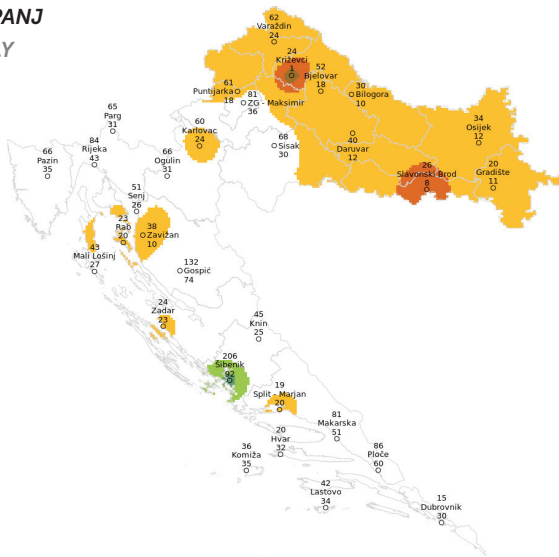
ekstremno sušno extremely dry	vrlo sušno very dry	sušno dry	normalno normal	kišno wet	vrlo kišno very wet	ekstremno kišno extremely wet
----------------------------------	------------------------	--------------	--------------------	--------------	------------------------	----------------------------------

Slika 1.1.3.a Mjesečne količine oborine, u postotcima višegodišnjeg prosjeka za razdoblje 1981. – 2010. godina za Hrvatsku za 2022. godinu.

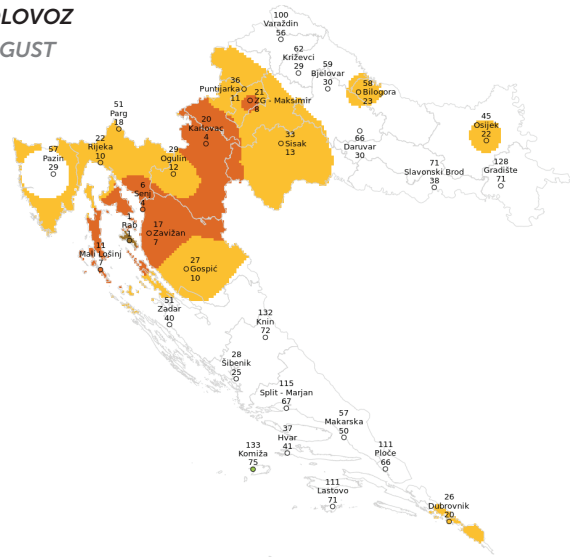
Figure 1.1.3.a Monthly precipitation amounts in percentages of multiannual average for the period 1981-2010, in Croatia for 2022.



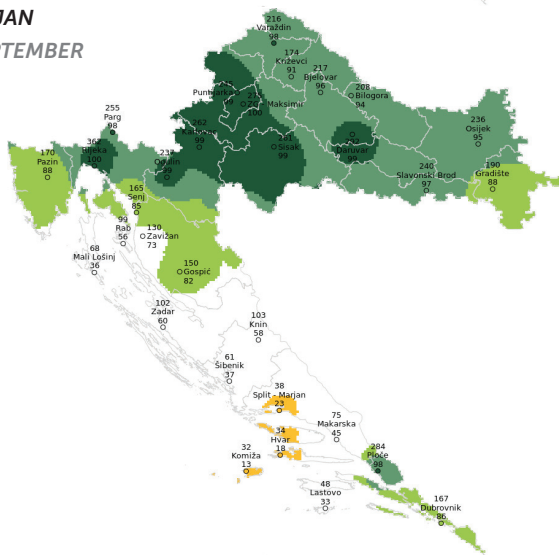
**SRPANJ**  
**JULY**



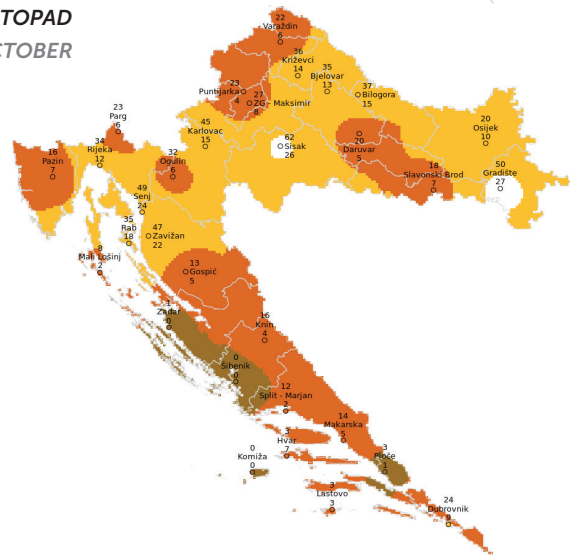
**KOLOVOZ**  
**AUGUST**



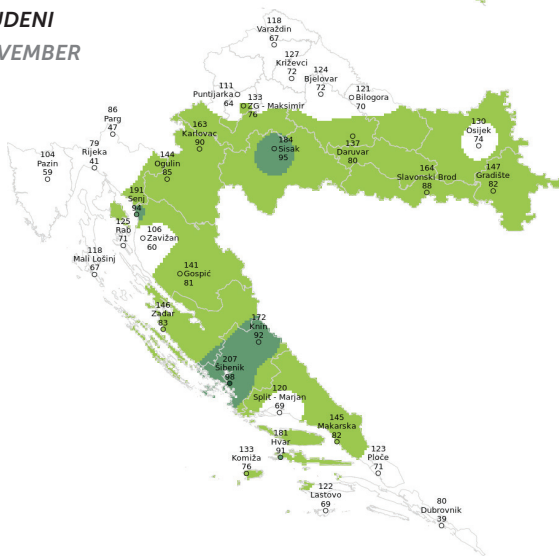
**RUJAN**  
**SEPTEMBER**



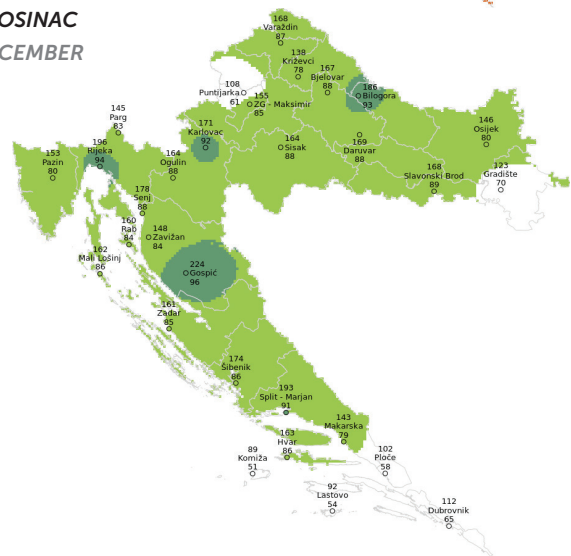
**LISTOPAD**  
**OCTOBER**



**STUDENI**  
**NOVEMBER**



**PROSINAC**  
**DECEMBER**

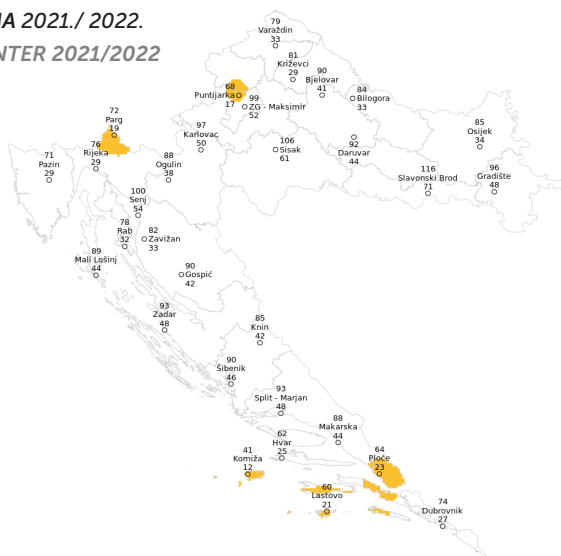


Slika 1.1.3.b Mjesečne količine oborine, u postotcima višegodišnjeg prosjeka za razdoblje 1981. – 2010. godina za Hrvatsku za 2022. godinu.

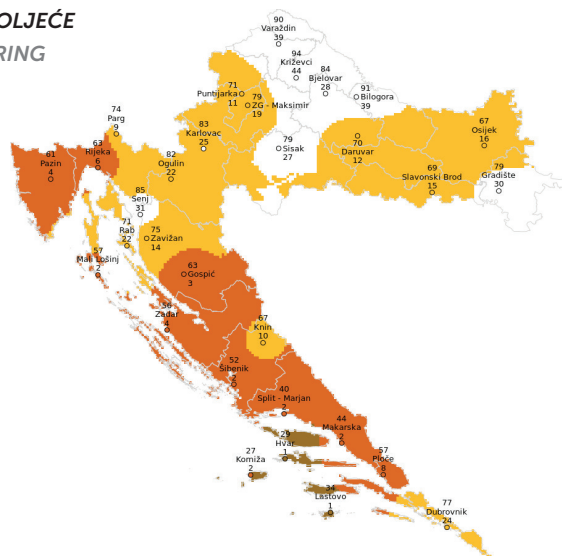
Figure 1.1.3.b Monthly precipitation amounts, in percentages of multiannual average for the period 1981-2010, in Croatia for 2022.



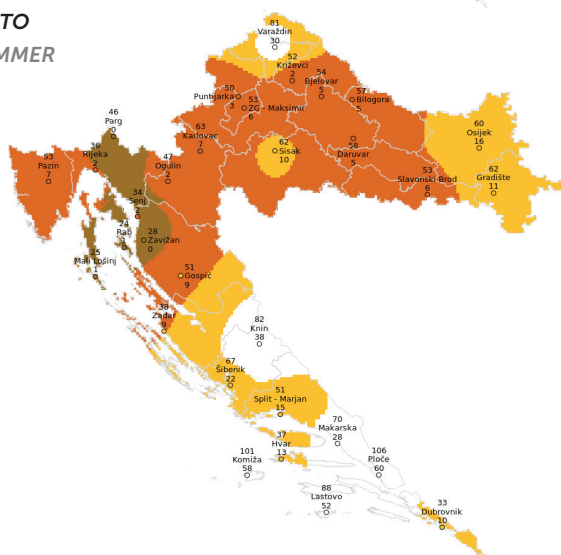
ZIMA 2021./ 2022.  
WINTER 2021/2022



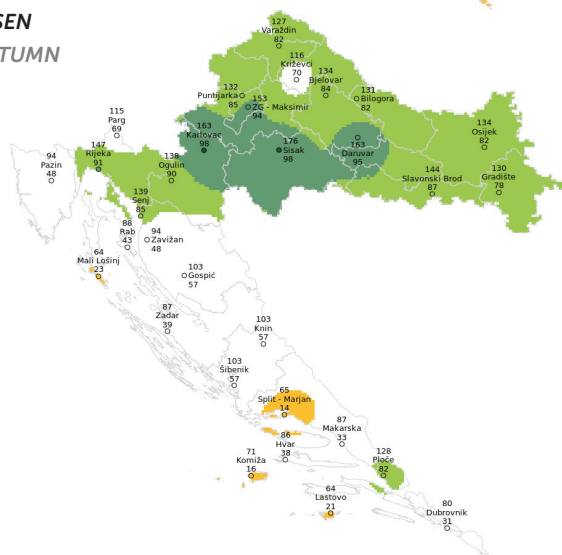
PROLJEĆE  
SPRING



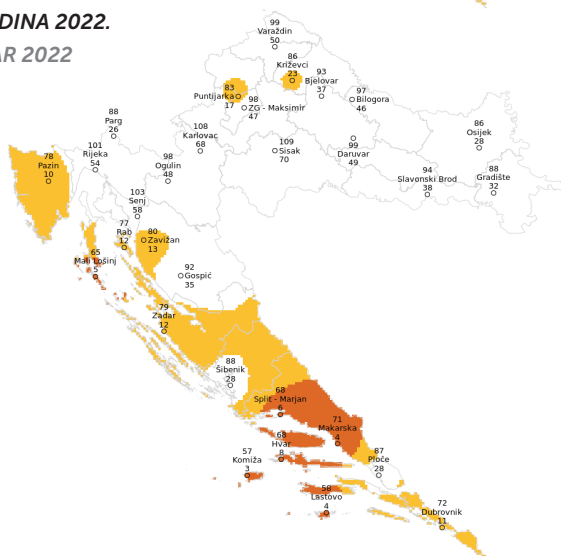
LJETO  
SUMMER



JESEN  
AUTUMN



GODINA 2022.  
YEAR 2022



Slika 1.1.4. Sezonske i godišnje količine oborine, u postocima višegodišnjeg prosjeka za razdoblje 1981. – 2010. godina za Hrvatsku za 2022. godinu.

Figure 1.1.4. Seasonal and annual precipitation amounts, in percentages of multiannual average for the period 1981-2010, in Croatia for 2022.

Tablica 1.1.1. Odstupanja srednje mjesečne, sezonske i godišnje temperature zraka za 2022. godinu od višegodišnjeg prosjeka za razdoblje 1981. – 2010. i percentili.

Tablica 1.1.1. Monthly, seasonal and annual air temperature anomalies, relative to the multiannual average for the period 1981-2010, and percentiles for 2022.

Postaja Station	Siječanj January	Veljača February	Ožujak March	Travanj April	Svibanj May	Lipanj June	Srpanj July	Kolovoz August	Rujan September	Listopad October	Studeni November	Prosinac December	Zima Winter	Proljeće Spring	Ljeto Summer	Jesen Autumn	Godina Year
Bilogora	1,6	3,7	0,2	-0,9	2,1	3,5	2,3	1,8	0,0	3,1	1,9	3,1	2,3	0,5	2,6	1,7	1,8
	72	86	54	29	90	99	97	87	50	98	79	94	88	66	100	96	99
Bjelovar	1,5	3,8	-0,3	-0,7	2,2	3,5	2,0	1,9	0,4	3,2	2,1	3,4	2,5	0,4	2,5	1,9	1,9
	74	89	44	32	90	99	94	88	60	99	81	96	92	63	99	96	98
Daruvar	0,8	3,1	-1,8	-1,1	1,6	3,4	1,8	1,8	0,1	2,1	1,6	3,4	1,8	-0,4	2,3	1,3	1,5
	63	86	20	23	87	100	95	93	53	92	76	95	86	36	100	90	99
Dubrovnik	0,7	2,0	-0,7	0,2	1,8	3,6	2,4	2,1	0,8	1,2	1,7	2,7	1,1	0,4	2,7	1,2	1,6
	72	89	32	58	88	100	98	96	75	88	89	98	92	67	100	93	100
Gospić	0,9	2,9	-0,7	0,1	2,3	4,1	2,3	1,8	0,9	2,8	1,5	4,9	2,2	0,5	2,7	1,7	2
	65	87	38	53	94	100	98	88	74	97	73	100	92	66	99	96	100
Gradište	2,0	3,9	-0,5	-0,8	2,2	3,6	2,7	2,4	0,2	2,4	1,9	3,7	2,6	0,3	2,9	1,5	2
	80	88	41	31	92	99	98	96	55	96	80	97	93	60	100	91	99
Hvar	0,6	1,9	-0,9	0,1	1,6	3,3	1,9	1,5	0,8	1,6	1,6	3,1	1,0	0,2	2,2	1,4	1,5
	69	90	26	54	89	100	97	91	75	94	87	99	87	59	100	96	100
Komiža	0,2	1,5	-1,3	-0,6	1,1	3,1	1,3	1,0	0,3	1,0	1,2	2,5	0,7	-0,3	1,8	0,9	1
	57	83	18	25	80	99	90	78	60	82	82	98	78	35	98	87	98
Križevci	1,5	3,7	-0,1	-0,4	2,3	3,6	2,4	2,6	0,7	3,1	2,2	3,2	2,5	0,6	2,9	2,0	2,1
	74	90	48	39	94	99	98	98	69	99	84	96	94	71	100	98	100
Lastovo	0,7	1,9	-0,4	0,3	1,9	4,2	2,5	1,1	0,6	2,0	2,1	3,0	1,1	0,6	2,6	1,5	1,6
	72	90	39	62	90	100	99	82	69	99	96	99	92	75	100	97	100
Makarska	0,5	1,5	-1,1	-0,6	1,3	3,3	1,5	1,1	0,6	1,2	1,3	2,5	0,8	-0,1	2,0	1,0	1,1
	66	83	23	27	81	99	93	82	69	88	82	98	81	46	98	89	97
Mali Lošinj	0,6	2,1	0,1	0,1	2,3	3,7	2,6	1,9	0,9	2,5	1,8	2,6	1,2	0,8	2,8	1,8	1,8
	69	92	53	54	94	100	99	93	77	100	93	99	88	79	100	100	100
Ogulin	0,8	3,0	-0,7	-0,6	2,1	3,8	1,9	2,0	0,1	2,8	1,8	3,0	1,8	0,4	2,6	1,5	1,7
	62	83	38	35	93	100	96	91	53	97	77	91	83	63	100	93	98
Osijek	1,8	3,6	-0,9	-1,1	1,9	3,2	1,8	2,4	0,2	2,0	2,2	3,7	2,4	0,0	2,5	1,5	1,7
	78	88	34	23	90	99	93	97	55	92	84	97	91	50	100	93	99
Parg	1,3	2,7	0,4	-0,2	2,3	4,3	2,5	1,7	-0,1	3,8	2,0	3,1	1,9	0,8	2,8	1,9	2
	71	82	57	45	91	100	98	86	47	99	81	96	87	73	100	96	99
Pazin	0,1	1,8	-1,4	-0,2	1,8	3,5	3,0	1,9	0,3	2,3	1,1	3,2	0,7	0,0	2,8	1,2	1,4
	52	83	22	43	92	100	100	91	58	97	74	99	72	50	100	91	100
Ploče	0,2	1,5	-1,0	0,0	1,9	3,9	2,4	1,9	0,6	1,3	1,8	3,1	0,9	0,3	2,7	1,3	1,4
	56	83	25	50	93	100	99	96	68	88	88	99	84	63	100	95	100
Puntijarka	1,6	2,7	0,3	-0,7	2,5	3,8	2,7	2,1	-0,1	4,5	2,1	2,8	1,8	0,7	2,9	2,2	2,0
	75	82	55	34	94	100	99	90	48	100	83	95	87	72	100	99	99
Rab	0,8	2,0	-0,1	-0,2	2,0	3,6	2,5	2,3	0,8	2,3	1,8	2,7	1,2	0,6	2,8	1,6	1,7
	73	89	48	42	89	100	98	95	73	100	90	99	88	73	100	98	100
Rijeka	0,8	2,3	0,2	-0,3	2,5	4,3	3,0	2,3	0,1	3,2	2,0	2,4	1,3	0,8	3,2	1,7	1,9
	69	89	54	41	93	100	98	92	53	100	91	98	88	77	100	98	100
Senj	1,0	2,8	0,3	-0,1	2,4	3,9	2,7	2,0	0,5	3,4	1,7	2,7	1,8	0,9	2,9	1,8	1,9
	70	89	56	47	93	100	98	89	63	100	82	97	90	79	100	98	100
Šibenik	0,2	2,0	-0,8	-0,5	1,8	3,8	2,5	1,6	0,4	2,1	1,4	3,4	1,1	0,1	2,7	1,3	1,5
	55	87	33	32	90	100	99	89	61	96	81	100	84	54	100	95	100
Sisak	0,9	3,4	-1,2	-0,6	1,9	3,5	1,7	1,9	0,4	2,7	1,6	3,3	2,1	0,1	2,4	1,6	1,6
	65	87	28	34	91	99	94	93	61	97	76	96	89	54	99	94	98
Slavonski Brod	1,5	3,6	-0,8	-0,6	1,8	4,0	1,9	2,0	0,3	2,7	2,5	3,7	2,5	0,1	2,6	1,8	1,8
	74	88	35	35	90	100	94	91	58	97	87	98	93	54	99	96	99
Split-Marjan	0,6	2,0	-0,5	-0,4	2,2	4,0	2,3	1,4	0,3	2,6	2,0	2,9	1,1	0,4	2,5	1,7	1,6
	67	87	38	37	92	100	98	84	58	99	91	99	86	66	99	98	100
Varaždin	1,4	3,5	-1,2	-0,9	1,7	3,0	1,4	1,8	0,1	2,4	1,6	2,4	2,3	-0,1	2,1	1,4	1,4
	71	86	28	26	89	98	88	88	53	94	76	91	90	46	98	92	96
Zadar	0,8	2,1	-0,6	-0,2	1,7	3,8	2,6	1,9	0,7	2,5	1,4	3,2	1,4	0,3	2,8	1,5	1,6
	72	89	34	42	89	100	100	94	72	99	82	100	92	63	100	97	100
Zagreb-Maksimir	1,5	3,4	-0,5	-0,4	2,0	3,7	2,5	2,7	0,5	3,0	2,1	3,1	2,3	0,3	3,0	1,9	2,0
	73	88	41	39	91	99	98	96	64	99	83	96	91	61	100	97	99
Zavižan	1,3	2,5	-0,4	-0,3	3,3	4,1	2,4	1,4	0,2	4,6	1,5	3,6	1,7	0,9	2,6	2,1	2,0
	70	81	43	43	97	100	98	81	54	100	80	98	86	76	100	99	100

Parametar Parameter

Odstupanje Deviation

Percentil Percentile

Tablica 1.1.2. Mjesečne, sezonske i godišnje količine oborine u postotcima višegodišnjeg prosjeka za razdoblje 1981. – 2010. i percentili za 2022. godinu.

Table 1.1.2. Monthly, seasonal and annual precipitation amounts, in percentages of multiannual average for the period 1981-2010 and percentiles for 2022.

Postaja Station	Siječanj January	Veljača February	Ožujak March	Travanj April	Svibanj May	Lipanj June	Srpanj July	Kolovoz August	Rujan September	Listopad October	Studeni November	Prosinac December	Zima Winter	Proljeće Spring	Ljeto Summer	Jesen Autumn	Godina Year
Bilogora	21	98	20	145	99	76	30	58	208	37	121	186	84	91	57	131	97
	9	54	1	84	55	32	10	23	94	15	70	93	33	39	5	82	46
Bjelovar	42	76	16	152	81	52	52	59	217	35	124	167	90	84	54	134	93
	23	38	0	85	39	11	18	30	96	13	72	88	41	28	5	84	37
Daruvár	35	88	19	130	59	64	40	66	292	20	137	169	92	70	58	163	99
	15	49	0	77	26	28	12	30	99	5	80	88	44	12	5	95	49
Dubrovnik	26	76	69	130	23	50	15	26	167	24	80	113	74	77	33	80	72
	7	43	33	76	14	34	30	20	86	9	39	65	27	24	10	31	11
Gospić	51	64	17	86	83	26	132	27	150	13	141	224	90	63	51	103	92
	24	32	2	39	39	7	74	10	82	5	81	96	42	3	9	57	35
Gradište	33	89	21	126	85	45	20	128	190	50	147	123	96	79	62	130	88
	9	47	4	72	45	13	11	71	88	27	82	70	48	30	11	78	32
Hvar	5	76	14	56	17	46	20	37	34	3	181	163	62	29	37	86	68
	3	47	8	22	7	41	32	41	18	7	91	86	25	1	13	38	8
Karlovac	59	103	13	105	118	105	60	20	262	45	163	171	97	83	63	163	108
	32	58	0	59	71	59	24	4	99	15	90	92	50	25	7	98	68
Komiža	14	20	12	39	39	104	36	133	33	0	133	89	41	27	101	71	57
	7	15	11	10	20	60	35	75	13	0	76	51	12	2	58	16	3
Križevci	39	58	10	163	106	65	24	62	174	36	127	138	81	94	52	116	87
	20	22	0	89	60	22	1	29	91	14	72	78	29	44	2	70	23
Lastovo	3	70	13	71	22	87	42	111	48	3	122	92	60	34	88	64	58
	1	44	4	30	17	56	34	71	33	3	69	54	21	1	52	21	4
Makarska	9	48	23	95	10	74	81	57	75	14	145	143	88	44	70	87	71
	6	28	7	52	2	40	51	50	45	5	82	79	44	2	28	33	4
Mali Lošinj	42	57	30	92	49	29	43	11	68	8	118	162	89	57	25	64	65
	22	30	4	47	22	7	27	7	36	2	67	86	44	2	1	23	5
Ogulin	51	97	15	99	124	48	66	29	237	32	144	164	88	81	47	137	98
	18	53	0	54	71	10	31	12	99	6	85	88	38	22	2	90	48
Osijek	17	81	14	67	103	89	34	45	236	20	131	146	85	67	60	134	86
	4	42	2	27	58	49	12	22	95	10	74	80	34	16	16	82	28
Parg	52	84	15	114	88	27	65	51	255	23	86	145	72	74	46	115	88
	20	43	2	67	42	0	31	18	98	6	47	83	19	9	0	69	26
Pazin	13	91	28	76	75	40	67	57	170	16	104	153	71	61	53	94	78
	4	51	9	33	38	6	35	29	88	7	59	80	29	4	7	48	10
Ploče	2	55	23	110	42	112	86	111	284	3	123	102	64	57	106	128	87
	0	36	11	63	16	64	60	66	98	1	71	58	23	8	60	82	28
Puntijarka	39	61	19	144	50	55	61	36	245	23	111	108	69	71	50	132	83
	20	28	0	82	12	13	18	11	99	4	64	61	17	11	3	85	17
Rab	16	96	22	110	81	45	23	1	99	35	125	160	79	71	24	88	77
	4	54	4	62	46	11	20	1	56	18	71	84	32	22	1	43	12
Rijeka	28	80	33	104	50	25	84	22	362	34	79	196	76	63	36	147	101
	10	43	13	58	23	3	43	10	100	12	41	94	29	6	2	91	54
Senj	51	89	16	130	106	53	51	6	165	49	191	178	100	85	33	139	103
	29	49	2	74	60	20	26	4	85	24	94	88	54	31	2	85	58
Šibenik	21	117	15	89	49	32	206	28	61	0	207	174	90	52	67	103	88
	12	66	4	44	19	16	92	25	37	0	98	86	46	2	22	57	28
Sisak	58	109	11	132	81	82	68	33	261	63	184	164	106	79	62	176	109
	29	62	0	75	44	38	30	13	99	26	95	88	61	27	10	98	70
Slavonski Brod	40	143	21	112	66	62	26	71	240	18	164	168	116	69	53	144	94
	12	79	0	64	31	21	8	38	97	7	88	89	71	15	6	87	38
Split-Marjan	10	73	11	93	15	16	19	115	38	12	120	193	93	40	51	65	68
	4	40	5	48	3	11	20	67	23	2	69	91	48	2	15	14	6
Varaždin	39	55	11	179	73	80	62	100	216	22	118	168	79	90	81	127	99
	25	27	0	91	31	35	24	56	98	6	67	87	33	39	30	82	50
Zadar	36	107	31	94	41	33	24	51	103	1	146	161	93	56	38	87	79
	17	61	12	51	19	14	23	40	60	0	83	85	48	4	9	39	12
Zagreb-Maksimir	53	97	16	138	77	65	81	21	275	27	133	155	99	79	53	153	98
	30	54	1	79	32	16	36	8	100	8	76	85	52	19	6	94	47
Zavižan	48	87	20	133	67	33	38	17	130	47	106	148	82	75	28	94	80
	14	45	2	80	27	4	10	7	73	22	60	84	33	14	0	48	13

Parametar Parameter

Odstupanje Deviation

Percentil Percentile

## 1.2 Ocjena temperaturnih i oborinskih prilika za 2022. godinu

Ocjena je izrađena na temelju kartografskog prikaza anomalija srednje mjesečne temperature zraka i mjesečne količine oborine definiranih u odnosu na višegodišnji prosjek 1981. – 2010. kao i kartografskih prikaza odgovarajućih sezonskih i godišnjih anomalija za navedene meteorološke elemente. Kvantitativna kartografska ocjena toplinskih i oborinskih prilika na području Hrvatske za 2022. godinu može se dopuniti sažetim opisom prikazanim u tablicama 1.2.1 do 1.2.4. U prvom stupcu tablica klase su odstupanja temperature zraka od standardnog višegodišnjeg prosjeka (tablice 1.2.1 za mjesec i 1.2.3 za sezone i godinu) kao i odgovarajuće klase količine oborine (tablice 1.2.2 za mjesec i 1.2.4 za sezone i godinu), a u ostalim je kolonama postotak u odnosu na ukupnu površinu Hrvatske za pojedinu klasu. U klasi *normalno* odstupanja mogu biti i pozitivna i negativna pa je u tablicama naveden broj postaja s pozitivnim anomalijama u klasi *normalno* (redci *pozitivno normalno*) i negativnim anomalijama u klasi *normalno* (redci *negativno normalno*).

Mjesečne anomalije temperature zraka bile su pozitivne na cijelom teritoriju u svim mjesecima izuzev u ožujku i travnju, kada su prevladavale negativne anomalije te rujnu, kada su anomalije bile negativne na tri, a pozitivne na ostalim postajama.

Na području Hrvatske srednja godišnja temperatura zraka za 2022. godinu bila je viša od višegodišnjeg prosjeka (1981. – 2010.) na svim postajama koje su uključene u praćenje klime. Odstupanja srednje godišnje temperature zraka u rasponu su od 1,0 °C (Komiža) do 2,1 °C (Križevci).

Kategorizacija godišnjih temperaturnih anomalija zasnovana na razdiobi percentila pokazuje da su sjever Hrvatske i šire makarsko područje bili vrlo topli (5 % teritorija), dok je gotovo cijeli teritorij Hrvatske bio ekstremno topao (95 % teritorija) (tablica 1.2.3).

Prevladavale su negativne mjesečne anomalije količina oborine sve do rujna, kada su anomalije bile pozitivne na većini postaja. U listopadu su ponovo prevladavale negativne anomalije, a u studenom i prosincu pozitivne.

Analiza godišnjih količina oborine koje su izražene u postotcima višegodišnjeg prosjeka (1981. – 2010.) pokazuje da su u 2022. u Hrvatskoj količine oborine na većini analiziranih postaja bile niže, a samo na četiri znatno više od višegodišnjeg prosjeka.

Usporedba s navedenim višegodišnjim prosjekom pokazuje da su količine oborine za 2022. godinu u rasponu od 57 % višegodišnjeg prosjeka u Komiži (410,0 mm) do 109 % u Sisku (1002,8 mm) (tablica 1.1.2).

Oborinske prilike u Hrvatskoj u 2022. godini bile su normalne do vrlo sušne. Vrlo sušan bio je otok Lošinj, veći dio srednje Dalmacije, otoci Korčula i Lastovo (6,5 % teritorija). Sušna je bila okolica Križevaca i Puntijarke, Istra, dio otoka Cresa i otok Rab, dio sjevernog Velebita, veći dio sjeverne Dalmacije, dio srednje i veći dio južne Dalmacije (21,1 % teritorija). Normalno je bilo u istočnoj Hrvatskoj, većem dijelu središnje i gorske Hrvatske, dijelu Kvarnera, na šibenskom području i u okolici Ploča (72,4 % teritorija) (tablica 1.2.4).

## 1.2 Assessment of temperature and precipitation conditions in 2022

The analysis is based on maps showing the anomalies of mean monthly air temperatures and monthly precipitation amounts, defined as the deviation from the 1981-2010 multiannual average, as well as the maps of the corresponding seasonal and annual anomalies for the meteorological elements in question. The quantitative cartographic assessment of temperature and precipitation conditions for Croatia in 2022 is supplemented with the brief description in Tables 1.2.1 to 1.2.4. The first column of the tables shows the categories of air temperature anomalies in reference to the WMO standard multiannual average 1981-2010 (Tables 1.2.1 for months and 1.2.3 for seasons and year), as well as the corresponding precipitation amount anomaly categories (Tables 1.2.2 for months and 1.2.4 for seasons and year). The other columns show the percentage of the total Croatian territory for each category.

In the *normal* category, anomalies can be both positive and negative. The tables therefore show the number of stations with positive anomalies in the *normal* category (*positive normal* rows) and negative anomalies in the *normal* category (*negative normal* rows).

Monthly air temperature anomalies were positive in entire Croatian territory in all months, except in March and April, when negative anomalies were prevalent, and in September, when anomalies were negative at three and positive at other stations.

The mean annual air temperature in Croatia in 2022 was above the multiannual average (1981-2010) at all meteorological stations included in climate monitoring. Mean annual air temperature anomalies fell within the range of between 1,0°C (Komiža) and 2,1°C (Križevci).

The categorization of annual temperature anomalies based on percentile distribution shows that the north of Croatia and the wider Makarska area fell within the very warm category (5% of the territory), and almost the entire Croatian territory within the extremely warm category (95% of the territory) (Table 1.2.3)

Negative monthly precipitation amount anomalies were prevalent until September, when anomalies were positive at most stations. In October, negative anomalies were prevalent again, followed by a prevalence of positive anomalies in November and December.

The analysis of annual precipitation amounts expressed in percentages of the multiannual average (1981-2010) shows that precipitation amounts in Croatia in 2022 were lower at most of the analyzed stations, and were slightly higher than the multiannual average at only four stations.

A comparison with the above multiannual average shows that the precipitation amounts for 2022 fell within the range of between 57% of the multiannual average in Komiža (410.0 mm) and 109% in Sisak (1002.8 mm) (Table 1.1.2).

Precipitation conditions in Croatia in 2022 were normal to very dry. They fell in the very dry category on the island of Lošinj, most of central Dalmatia, and the islands of Korčula and Lastovo (6.5% of the territory). The surroundings of Križevci and Puntijarka, Istria, parts of the island of Cres and the island of Rab, parts of northern Velebit, most

Tablica 1.2.1. Klase odstupanja srednjih mjesečnih temperatura zraka u 2022. godini od višegodišnjeg prosjeka (1981. – 2010.) s udjelima površine u pojedinoj klasi u odnosu na ukupnu površinu RH (%).

Table 1.2.1. Mean monthly air temperature anomaly categories in 2022 relative to the multiannual average 1981–2010, with areas in each category compared to the total Croatian territory (%).

Klasa Category	SIJEČANJ JANUARY	VELJAČA FEBRUARY	OŽUJAK MARCH	TRAVANJ APRIL	SVIBANJ MAY	LIPANJ JUNE	SRPANJ JULY	KOLOVOZ AUGUST	RUJAN SEPTEMBER	LISTOPAD OCTOBER	STUDENI NOVEMBER	PROSINAC DECEMBER
ekstremno toplo extremely warm						100,0	34,7	0,0*		28,7		36,0
vrlo toplo very warm		0,2			49,0		62,0	53,2		66,3	0,7	63,1
toplo warm	11,4	99,8			51,0		3,4	46,8	0,1	5,0	93,3	0,9
normalno normal	88,6		96,1	95,5					99,9		6,0	
hladno cold			3,9	4,5								
vrlo hladno very cold												
ekstremno hladno extremely cold												
pozitivno normalno positive normal	27		6	6					24		2	
negativno normalno negative normal			20	22					3			

Tablica 1.2.2. Klase odstupanja mjesečne količine oborine u 2022. godini od višegodišnjeg prosjeka (1981. – 2010.) s udjelima površine u pojedinoj klasi u odnosu na ukupnu površinu RH (%).

Table 1.2.2. Monthly precipitation amount categories in 2022 relative to the multiannual average 1981–2010 in 2022, with areas in each category compared to the total Croatian territory (%).

Klasa Category	SIJEČANJ JANUARY	VELJAČA FEBRUARY	OŽUJAK MARCH	TRAVANJ APRIL	SVIBANJ MAY	LIPANJ JUNE	SRPANJ JULY	KOLOVOZ AUGUST	RUJAN SEPTEMBER	LISTOPAD OCTOBER	STUDENI NOVEMBER	PROSINAC DECEMBER
ekstremno kišno extremely wet									18,2		0,0*	
vrlo kišno very wet							0,1		38,3		6,3	7,0
kišno wet		1,1		28,3			1,1		19,1		60,6	82,8
normalno normal	13,2	98,0	0,8	71,3	76,1	42,0	53,8	57,3	22,9	1,7	33,1	10,1
sušno dry	59,9	0,8	8,8	0,3	16,9	44,3	41,9	29,4	1,4	50,8		
vrlo sušno very dry	25,0		40,9		7,0	13,3	2,9	13,3		41,0		
ekstremno sušno extremely dry	1,9		49,5			0,5	0,2	0,1		6,5		
pozitivno normalno positive normal		4		9	5	3	1	6	3		13	4
negativno normalno negative normal	5	24	1	10	13	9	15	9	5	2	3	2



Tablica 1.2.3. Klase odstupanja srednjih sezonskih temperatura i godišnje temperature zraka u 2022. godini od višegodišnjeg prosjeka (1981. – 2010.) s udjelima površine u pojedinoj klasi u odnosu na ukupnu površinu RH (%).

Table 1.2.3. Mean seasonal and annual air temperature anomaly categories in 2022 relative to the multiannual average 1981-2010, with areas in each category compared to the total Croatian territory (%).

Klasa Category	ZIMA WINTER	PROLJEĆE SPRING	LJETO SUMMER	JESEN AUTUMN	GODINA YEAR
ekstremno toplo extremely warm			100,0	3,6	95,0
vrlo toplo very warm	26,3			93,8	5,0
toplo warm	71,3	3,3		2,6	
normalno normal	2,5	96,7			
hladno cold					
vrlo hladno very cold					
ekstremno hladno extremely cold					
pozitivno normalno positive normal	1	21			
negativno normalno negative normal		4			

Tablica 1.2.4. Klase odstupanja sezonskih količina i godišnje količine oborine u 2022. godini od višegodišnjeg prosjeka (1981. – 2010.) s udjelima površine u pojedinoj klasi u odnosu na ukupnu površinu RH (%).

Table 1.2.4. Seasonal and annual precipitation amount categories in 2022 relative to the multiannual average 1981-2010, with areas in each category compared to the total Croatian territory (%).

Klasa Category	ZIMA WINTER	PROLJEĆE SPRING	LJETO SUMMER	JESEN AUTUMN	GODINA YEAR
ekstremno kišno extremely wet					
vrlo kišno very wet				16,7	
kišno wet				43,8	
normalno normal	97,1	21,8	11,3	37,5	72,4
sušno dry	2,9	46,7	30,5	1,9	21,1
vrlo sušno very dry		29,9	51,1		6,5
ekstremno sušno extremely dry		1,6	7,0		
pozitivno normalno positive normal	2		2	5	4
negativno normalno negative normal	24	8	4	7	13

\* Zbog zaokruživanja na jednu decimalu površina koja je  $\leq 0.05\%$  prikazana je kao 0.0\*.  
Zbog zaokruživanja je moguće da suma površina klasa neznatno odstupa od 100 %.

\* Due to rounding to one decimal place, an area of  $\leq 0.05\%$  is shown as 0.0\*.  
Due to rounding, slight deviation of the sum of the class areas from 100 % is possible.

Tablica 1.3.1. Područja zahvaćena ekstremnim klimatskim prilikama u 2022. godini.

Table 1.3.1. Areas affected by extreme climate conditions in 2022.

Mjesečna razdoblja <i>Monthly periods</i>		
Ekstrem <i>Extreme</i>	Mjesec <i>Month</i>	Područje <i>Region</i>
ekstremno hladno <i>extremely cold</i>		niti jedno područje <i>no areas in this category</i>
ekstremno toplo <i>extremely warm</i>	lipanj <i>June</i>	cijela Hrvatska <i>entire Croatia</i>
	srpanj <i>July</i>	okolica Gradišta, zapadni dio središnje Hrvatske, dijelovi gorske Hrvatske, Istra, dijelovi Kvarnera s otocima, sjeverna Dalmacija sa zaleđem, jug srednje Dalmacije, južna Dalmacija <i>Gradište area, western part of central Croatia, parts of Mountainous Croatia, Istria, parts of Kvarner with islands, northern Dalmatia with hinterlands, south of central Dalmatia, southern Dalmatia</i>
	kolovoz <i>August</i>	okolica Križevaca <i>Križevci area</i>
	listopad <i>October</i>	dijelovi središnje i gorske Hrvatske, Kvarner, dio sjeverne Dalmacije, šira okolica Splita, Lastovo <i>parts of central and Mountainous Croatia, Kvarner, part of northern Dalmatia, wider Split area, Lastovo</i>
	prosinac <i>December</i>	šira okolica Slavenskog Broda, Istra, okolica Rijeke i dio kvarnerskih otoka, južni dio gorske Hrvatske, južno Hrvatsko primorje <i>the wider Slavonski Brod area, Istria, Rijeka area and parts of the Kvarner islands, the southern part of mountainous Croatia, the southern Croatian Littoral</i>
ekstremno sušno <i>extremely dry</i>	siječanj <i>January</i>	šire područje Ploča, Pelješac i otoci južne Dalmacije <i>wider Ploče area, Pelješac and islands of southern Dalmatia</i>
	ožujak <i>March</i>	središnja Hrvatska i veći dio istočne Hrvatske <i>central and most of eastern Croatia</i>
	lipanj <i>June</i>	šira okolica Parga <i>wider Parg area</i>
	srpanj <i>July</i>	okolica Križevaca <i>Križevci area</i>
	kolovoz <i>August</i>	otok Rab <i>island of Rab</i>
	listopad <i>October</i>	obala i otoci sjeverne Dalmacije, Vis, šira okolica Ploča, dio Pelješca <i>coast and islands of northern Dalmatia, Vis, wider Ploče area, parts of Pelješac</i>
ekstremno kišno <i>extremely wet</i>	rujan <i>September</i>	šira okolica Daruvara, Varaždin, zapadni dio središnje Hrvatske, Parg, šira okolica Rijeke, Ploče <i>wider Daruvar area, Varaždin, western part of central Croatia, Parg, wider Rijeka area, Ploče</i>
	studeni <i>November</i>	Šibenik <i>Šibenik</i>

Godišnja doba <i>Seasons</i>		
Ekstrem <i>Extreme</i>	Godišnje doba <i>Season</i>	Područje <i>Region</i>
ekstremno hladno <i>extremely cold</i>		niti jedno područje <i>no areas in this category</i>
ekstremno toplo <i>extremely warm</i>	ljetno <i>summer</i>	cijela Hrvatska <i>entire Croatia</i>
	jesen <i>autumn</i>	Križevci, šire područje Puntjarke, Rijeka, šire područje Zavižana i dijelovi kvarnerskih otoka, Split <i>Križevci, wider Puntjarka area, Rijeka, wider Zavižan area and parts of Kvarner islands, Split</i>
ekstremno sušno <i>extremely dry</i>	proljeće <i>spring</i>	Brač, dio otoka Hvara, Vis, dio Korčule, Lastovo <i>Brač, part of island of Hvar, Vis, part of Korčula, Lastovo</i>
	ljetno <i>summer</i>	sjevni dio gorske Hrvatske, Kvarner <i>northern part of Mountainous Croatia, Kvarner</i>
ekstremno kišno <i>extremely wet</i>	jesen <i>autumn</i>	Sisak, Karlovac <i>Sisak, Karlovac</i>

Godina 2022. <i>Year 2022</i>	
Ekstrem <i>Extreme</i>	Područje <i>Region</i>
ekstremno hladno <i>extremely cold</i>	niti jedno područje <i>no areas in this category</i>
ekstremno toplo <i>extremely warm</i>	gotovo cijela Hrvatska <i>almost entire Croatia</i>
ekstremno sušno <i>extremely dry</i>	niti jedno područje <i>no areas in this category</i>
ekstremno kišno <i>extremely wet</i>	niti jedno područje <i>no areas in this category</i>

of northern Dalmatia, parts of central and most of southern Dalmatia (21.1% of the territory) fall within the dry category. Eastern Croatia, most of central and mountainous Croatia, parts of Kvarner, the Šibenik area and the surroundings of Ploče fall within the normal category (72.4% of the territory) (Table 1.2.4).

### 1.3 Ekstremna klimatska razdoblja u 2022. godini

Područja zahvaćena ekstremnim klasama temperaturnih i oborinskih anomalija koje mogu značajno utjecati na ljude i različite gospodarske grane (energetika, poljoprivreda, turizam) izdvojena su u tablici 1.3.1 na mjesečnoj, sezonskoj i godišnjoj razini.

### 1.4 Rangovi temperature i oborine u 2022. godini

Na većini postaja temperature zraka bile su među pet najtoplijih u razdoblju 1961. – 2022. tijekom svibnja, lipnja, srpnja, listopada i prosinca, kao i tijekom ljeta i jeseni 2022. godine. Na većini postaja 2022. je bila najtoplija godina iz tog razdoblja. Ožujak i ljeto 2022. na većini postaja bili su među pet najsušnijih iz razdoblja 1961. – 2022. Rujan je na četrnaest postaja bio među pet najkišnijih iz razdoblja 1961. – 2022.

Promatrajući detaljnije, svibanj 2022. bio je najtopliji na postaji Zavižan u razdoblju 1961. – 2022. (tablica 1.4.1). Na svim ostalim postajama, osim na njih dvije, svibanj 2022. bio je među pet najtoplijih. Na većini postaja svibanj 2003. ili 2018. bili su najtopliji u promatranom razdoblju.

Lipanj 2022. na većini je postaja bio drugi najtopliji, a na njih pet najtopliji u razdoblju 1961. – 2022. ili jednako topao kao lipanj 2003. (tablica 1.4.2).

Srpanj 2022. na većini je postaja bio među četiri najtoplija (tablica 1.4.3). U Šibeniku je srpanj 2022. bio najtopliji, dok je na brojnim postajama najtopliji bio srpanj 2015., za kojim po učestalosti najtoplijeg slijedi srpanj 2012. Na nekoliko postaja najtopliji je bio srpanj 2021.

Listopad 2022. bio je najtopliji na dvanaest postaja (tablica 1.4.4). Na većini ostalih postaja najtopliji je bio davni listopad 1966.

Prosinac 2022. bio je najtopliji na petnaest postaja u razdoblju 1961. – 2022. (tablica 1.4.5). Na većini ostalih to je bio prosinac 1985.

Ljeto 2022. bilo je najtoplije na četiri postaje, dok je na ostalima bilo između drugog do četvrtog najtoplijeg (tablica 1.4.6). Na većini postaja najtoplije je i dalje ljeto 2003.

Jesen 2022. bila je najtoplija ili jednako topla kao i jesen 2006. i 2019. na tri postaje (tablica 1.4.7). Na četrnaest postaja najtoplija je bila jesen 2019.

Na dvadeset i četiri postaje 2022. je bila najtoplija godina u razdoblju 1961. – 2022. (tablica 1.4.8).

Po nedostatku oborine ožujak 2022. istaknuo se na dvadeset i jednoj postaji na kojima je bio od drugog do petog najsušnijeg u razdoblju 1961. – 2022. (tablica 1.4.9). Na većini postaja najsušniji je bio ožujak 2012.

Ljeto 2022. bilo je u pet najsušnijih na osamnaest postaja, od toga najsušnije na njih pet (tablica 1.4.10).

Rujan 2022. bio je među pet najkišnijih na četrnaest postaja kontinentalne i gorske Hrvatske te južne Dalmacije (tablica 1.4.11), pri čemu je najkišniji bio na njih četiri. Istodobno je dio obalnih postaja imao deficit oborine.

### 1.3 Extreme climate periods in 2022

Areas affected by extreme temperature and precipitation anomaly categories with potential to significantly affect people and industries (energy, agriculture, tourism) are highlighted in Table 1.3.1 on a monthly, seasonal and annual scale.

### 1.4 Temperature and precipitation ranks in 2022

In May, June, July, October and December, as well as in the summer and autumn of 2022, air temperatures at most stations were ranked among the five warmest in the period 1961-2022. At most stations, 2022 was the warmest year in this period. March and the summer of 2022 were among the five driest in the period 1961-2022 at most stations. At fourteen stations, September was among the five wettest Septembers in the period 1961-2022.

Looking in more detail, May 2022 was the warmest at Zavižan station in the period 1961-2022 (Table 1.4.1). At all other stations except for two, May 2022 was among the five warmest. At most stations, May 2003 or 2018 were the warmest in the observed period.

June 2022 was the second warmest at most stations. On five stations it was the warmest in the period 1961-2022 or as warm as June 2003 (Table 1.4.2).

July 2022 was among the four warmest at most stations (Table 1.4.3). In Šibenik, July 2022 was the warmest while on numerous stations July 2015 was the warmest, followed by July 2012 in terms of occurrence as the warmest. At several stations, July 2021 was the warmest.

October 2022 was the warmest at twelve stations (Table 1.4.4). At most other stations, October 1966 was the warmest.

December 2022 was the warmest at fifteen stations in the period 1961-2022 (Table 1.4.5). December 1985 was the warmest at most other stations.

The summer of 2022 was the warmest at four stations, and in the other stations it ranked between the second and fourth warmest (Table 1.4.6). At most stations, the summer of 2003 is still the warmest.

The autumn of 2022 was the warmest or just as warm as the autumns of 2006 and 2019 at three stations (Table 1.4.7). At fourteen stations, autumn 2019 was the warmest.

At twenty-four stations, 2022 was the warmest year in in the period 1961-2022 (Table 1.4.8).

In terms of lack of precipitation, March 2022 stood out at the twenty-one stations where it ranked between the second and the fifth driest in the period 1961-2022 (Table 1.4.9). At most stations, March 2012 was the driest.

The summer of 2022 was among the five driest summers at eighteen stations, and the driest at five of these (Table 1.4.10).

September 2022 was among the five wettest at fourteen stations in continental and Mountainous Croatia and southern Dalmatia (Table 1.4.11). Also, September 2022 was the wettest at four stations. At the same time, some of the coastal stations registered a precipitation deficit.

Tablica 1.4.1. Rangovi temperature zraka za TOPLI SVIBANJ 2022. Postaja, temperatura zraka (T), odstupanje u odnosu na normalu 1981. – 2010. (Tanom), percentil temperature zraka (Tperc), rang niza sortiranog silazno (Rang topli), godina s najtoplijim svibnjem u razdoblju 1961. – 2022. (Najtoplija godina).

Table 1.4.1. Air temperature ranks for WARM MAY 2022. Station, air temperature (T), deviation from normal 1981-2010 (Tanom), air temperature percentile (Tperc), rank of the series sorted in a descending order (Warm rank), year of the warmest May, 1961-2022 (Warmest year).

Postaja Station	T T	Tanom Tanom	Tperc Tperc	Rang topli Warm rank	Najtoplija godina Warmest year
Zavižan	10,3	3,3	97	1	2022
Mali Lošinj	20,3	2,3	94	2	2018
Osijek	19,0	1,9	90	2	2003;2018
Gospić	16,0	2,3	94	3	2003
Gradište	19,4	2,2	92	3	2003
Križevci	18,0	2,3	94	3	2018
Ogulin	17,2	2,1	93	3	2003
Parg	14,0	2,3	91	3	2003
Pazin	17,1	1,8	92	3	1986
Ploče	20,7	1,9	93	3	2018
Puntijarka	13,6	2,5	94	3	2003
Rab	20,4	2,0	89	3	2018
Senj	20,8	2,4	93	3	2018
Sisak	18,7	1,9	91	3	2003
Šibenik	20,6	1,8	90	3	2003
Zadar	19,8	1,7	89	3	2018
Zagreb-Maksimir	18,5	2,0	91	3	2018
Bilogora	18,4	2,1	91	4	2003
Bjelovar	19,0	2,2	90	4	2003
Rijeka	19,9	2,5	93	4	2018
Slavonski Brod	18,5	1,8	90	4	2018
Split-Marjan	21,7	2,2	92	4	2003
Varaždin	17,7	1,7	89	4	2003
Daruvar	17,9	1,6	87	5	2018
Hvar	20,6	1,6	89	5	2018
Lastovo	19,9	1,9	90	5	2003
Makarska	20,9	1,3	81	5	2003
Dubrovnik	20,6	1,8	89	6	2018
Komiža	20,2	1,1	80	6	2000;2003



Tablica 1.4.2. Rangovi temperature zraka za TOPLI LIPANJ 2022. Postaja, temperatura zraka (T), odstupanje u odnosu na normalu 1981. – 2010. (Tanom), percentil temperature zraka (Tperc), rang niza sortiranog silazno (Rang topli), godina s najtoplijim lipnjem u razdoblju 1961. – 2022. (Najtoplija godina)

Table 1.4.2. Air temperature ranks for WARM JUNE 2022. Station, air temperature (T), deviation from normal 1981-2010 (Tanom), air temperature percentile (Tperc), rank of the series sorted in a descending order (Warm rank), year of the warmest June, 1961-2022 (Warmest year).

Postaja Station	T T	Tanom Tanom	Tperc Tperc	Rang topli Warm rank	Najtoplija godina Warmest year
Lastovo	26,0	4,2	100	1	2003;2022
Ogulin	22,0	3,8	100	1	2003;2022
Ploče	26,4	3,9	100	1	2022
Slavonski Brod	23,8	4,0	100	1	2022
Zadar	25,6	3,8	100	1	2022
Dubrovnik	26,2	3,6	100	2	2003
Gospić	21,1	4,1	100	2	2003
Gradište	23,7	3,6	99	2	2003
Hvar	26,1	3,3	100	2	2003
Komiža	25,9	3,1	99	2	2003
Makarska	26,5	3,3	99	2	2003
Mali Lošinj	25,6	3,7	100	2	2003
Osijek	23,3	3,2	99	2	2003
Parg	19,0	4,3	100	2	2019
Pazin	22,4	3,5	100	2	2003
Rab	25,6	3,6	100	2	2003
Rijeka	25,3	4,3	100	2	2003
Senj	26,0	3,9	100	2	2003
Split-Marjan	27,4	4,0	100	2	2003
Šibenik	26,3	3,8	100	2	2003
Zavižan	14,6	4,1	100	2	2019
Daruvar	22,8	3,4	100	3	2003
Varaždin	22,1	3,0	98	3	2003
Zagreb-Maksimir	23,3	3,7	99	3	2003
Bilogora	22,7	3,5	99	4	2003
Bjelovar	23,4	3,5	99	4	2003
Križevci	22,4	3,6	99	4	2003
Puntijarka	17,8	3,8	100	4	2019
Sisak	23,4	3,5	99	4	2003

Tablica 1.4.3. Rangovi temperature zraka za TOPLI SRPANJ 2022. Postaja, temperatura zraka (T), odstupanje u odnosu na normalu 1981. – 2010. (Tanom), percentil temperature zraka (Tperc), rang niza sortiranog silazno (Rang topli), godina s najtoplijim srpnjem u razdoblju 1961. – 2022. (Najtoplija godina).

Table 1.4.3. Air temperature ranks for WARM JULY 2022. Station, air temperature (T), deviation from normal 1981-2010 (Tanom), air temperature percentile (Tperc), rank of the series sorted in a descending order (Warm rank), year of the warmest July, 1961-2022 (Warmest year).

Postaja Station	T T	Tanom Tanom	Tperc Tperc	Rang topli Warm rank	Najtoplija godina Warmest year
Šibenik	28,0	2,5	99	1	2015;2022
Bilogora	23,7	2,3	97	2	2015
Lastovo	27,3	2,5	99	2	2015
Mali Lošinj	27,4	2,6	99	2	2015
Pazin	24,4	3,0	100	2	2015
Ploče	27,8	2,4	99	2	2015
Puntijarka	18,9	2,7	99	2	2015
Rijeka	27,0	3,0	98	2	2015
Senj	27,8	2,7	98	2	2015
Zadar	27,2	2,6	100	2	2015
Zavižan	15,5	2,4	98	2	2015
Daruvar	23,1	1,8	95	3	2012;2015;2021
Dubrovnik	27,6	2,4	99	3	2012
Gospić	21,7	2,3	98	3	2015
Hvar	27,6	1,9	97	3	2015
Križevci	23,0	2,4	99	3	2012
Parg	19,7	2,5	98	3	2015
Rab	27,6	2,5	98	3	2015
Split-Marjan	28,7	2,3	98	3	2015
Zagreb-Maksimir	24,0	2,5	98	3	2012
Bjelovar	23,8	2,0	94	4	2015;2021
Gradište	24,6	2,7	98	4	2012
Komiža	27,1	1,3	90	4	2012;2015
Ogulin	22,1	1,9	96	4	2015
Osijek	23,8	1,8	93	4	2012
Makarska	27,8	1,5	93	6	2012
Sisak	23,5	1,7	94	6	2015
Slavonski Brod	23,6	1,9	94	6	2012
Varaždin	22,3	1,4	88	6	2015;2021

Tablica 1.4.4. Rangovi temperature zraka za TOPLI LISTOPAD 2022. Postaja, temperatura zraka (T), odstupanje u odnosu na normalu 1981. – 2010. (Tanom), percentil temperature zraka (Tperc), rang niza sortiranog silazno (Rang topli), godina s najtoplijim listopadom u razdoblju 1961. – 2022. (Najtoplija godina)

Table 1.4.4. Air temperature ranks for WARM OCTOBER 2022. Station, air temperature (T), deviation from normal 1981-2010 (Tanom), air temperature percentile (Tperc), rank of the series sorted in a descending order (Warm rank), year of the warmest October, 1961-2022 (Warmest year).

Postaja Station	T T	Tanom Tanom	Tperc Tperc	Rang topli Warm rank	Najtoplija godina Warmest year
Lastovo	19,2	2,0	99	1	2022
Mali Lošinj	19,3	2,5	100	1	2022
Parg	12,1	3,8	99	1	2022
Puntijarka	12,1	4,5	100	1	2022
Rab	18,8	2,3	100	1	2022
Rijeka	17,9	3,2	100	1	2022
Senj	19,3	3,4	100	1	2022
Split-Marjan	19,9	2,6	99	1	2022
Šibenik	18,6	2,1	96	1	2022
Zadar	18,8	2,5	99	1	2022
Zagreb-Maksimir	14,3	3,0	99	1	2022
Zavižan	10,0	4,6	100	1	2022
Bilogora	14,6	3,1	98	2	1966
Bjelovar	14,3	3,2	99	2	1966
Gospić	12,5	2,8	97	2	2004
Križevci	13,5	3,1	99	2	1966
Pazin	14,4	2,3	97	2	1966; 2004
Slavonski Brod	13,9	2,7	97	2	1966
Gradište	14,2	2,4	96	3	1966
Hvar	19,6	1,6	95	3	2004
Ogulin	13,6	2,8	97	3	1966
Sisak	14,0	2,7	97	3	1966
Daruvar	13,3	2,1	92	4	1966
Varaždin	13,0	2,4	95	5	1966
Dubrovnik	19,1	1,2	89	6	2018
Komiža	19,2	1,0	82	6	2004
Osijek	13,6	2,0	92	6	1966
Makarska	19,2	1,2	89	7	2004
Ploče	17,6	1,3	88	7	1966

Tablica 1.4.5. Rangovi temperature zraka za TOPLI PROSINAC 2022. Postaja, temperatura zraka (T), odstupanje u odnosu na normalu 1981. – 2010. (Tanom), percentil temperature zraka (Tperc), rang niza sortiranog silazno (Rang topli), godina s najtoplijim prosincem u razdoblju 1961. – 2022. (Najtoplija godina).

Table 1.4.5. Air temperature ranks for WARM DECEMBER 2022. Station, air temperature (T), deviation from normal 1981-2010 (Tanom), air temperature percentile (Tperc), rank of the series sorted in a descending order (Warm rank), year of the warmest December, 1961-2022 (Warmest year).

Postaja Station	T T	Tanom Tanom	Tperc Tperc	Rang topli Warm rank	Najtoplija godina Warmest year
Dubrovnik	13,1	2,7	98	1	2020;2022
Gospić	5,3	4,9	100	1	2022
Hvar	13,4	3,1	99	1	2022
Komiža	13,5	2,5	98	1	2022
Lastovo	12,8	3,0	99	1	2022
Makarska	12,8	2,5	98	1	2022
Mali Lošinj	11,8	2,6	99	1	2022
Pazin	7,2	3,2	99	1	2022
Ploče	11,0	3,1	99	1	2022
Rab	11,5	2,7	99	1	2022
Rijeka	9,2	2,4	98	1	2015;2022
Slavonski Brod	5,0	3,7	98	1	2022
Split-Marjan	12,0	2,9	99	1	2022
Šibenik	11,6	3,4	100	1	2022
Zadar	11,7	3,2	100	1	2022
Daruvar	5,2	3,4	95	2	1985
Gradište	5,4	3,7	97	2	1985
Križevci	4,0	3,2	96	2	1985
Osijek	4,9	3,7	97	2	1985
Senj	10,1	2,7	97	2	2013
Sisak	4,9	3,3	96	2	1982
Zagreb-Maksimir	4,7	3,1	96	2	1985
Zavižan	0,7	3,6	98	2	2015
Bjelovar	4,6	3,4	96	3	1985
Parg	2,8	3,1	96	3	2015
Bilogora	4,4	3,1	94	4	1985
Ogulin	4,7	3,0	91	4	2000
Puntijarka	1,6	2,8	95	6	2015
Varaždin	3,4	2,4	91	7	1985

Tablica 1.4.6. Rangovi temperature zraka za TOPLO LJETO 2022. Postaja, temperatura zraka (T), odstupanje u odnosu na normalu 1981. – 2010. (Tanom), percentil temperature zraka (Tperc), rang niza sortiranog silazno (Rang topli), godina s najtoplijim ljetom u razdoblju 1961. – 2022. (Najtoplija godina).

Table 1.4.6. Air temperature ranks for WARM SUMMER 2022. Station, air temperature (T), deviation from normal 1981-2010 (Tanom), air temperature percentile (Tperc), rank of the series sorted in a descending order (Warm rank), year of the warmest Summer, 1961-2022 (Warmest year)

Postaja Station	T T	Tanom Tanom	Tperc Tperc	Rang topli Warm rank	Najtoplija godina Warmest year
Dubrovnik	27,1	2,7	100	1	2022
Pazin	23,1	2,8	100	1	2003;2022
Ploče	27,0	2,7	100	1	2022
Zadar	26,3	2,8	100	1	2022
Daruvar	22,7	2,3	100	2	2003
Gradište	24,0	2,9	100	2	2012
Hvar	26,8	2,2	100	2	2003
Komiža	26,5	1,8	98	2	2003
Lastovo	26,3	2,6	100	2	2003
Makarska	27,1	2,0	98	2	2003
Mali Lošinj	26,5	2,8	100	2	2003
Osijek	23,6	2,5	100	2	2012
Parg	19,0	2,8	100	2	2003
Rab	26,7	2,8	100	2	2003
Rijeka	26,1	3,2	100	2	2003
Senj	26,9	2,9	100	2	2003
Slavonski Brod	23,5	2,6	99	2	2012
Šibenik	27,0	2,7	100	2	2003
Zagreb-Maksimir	23,6	3,0	100	2	2003
Bilogora	23,1	2,6	100	3	2003
Gospić	21,1	2,7	99	3	2003
Križevci	22,6	2,9	100	3	2003
Ogulin	21,9	2,6	100	3	2003
Puntijarka	18,3	2,9	100	3	2003
Sisak	23,3	2,4	99	3	2003
Split-Marjan	27,8	2,5	99	3	2003
Varaždin	22,1	2,1	98	3	2003
Bjelovar	23,4	2,5	99	4	2003
Zavižan	14,8	2,6	100	4	2012



Tablica 1.4.7. Rangovi temperature zraka za TOPLU JESEN 2022. Postaja, temperatura zraka (T), odstupanje u odnosu na normalu 1981. – 2010. (Tanom), percentil temperature zraka (Tperc), rang niza sortiranog silazno (Rang topli), godina s najtoplijom jeseni u razdoblju 1961. – 2022. (Najtoplija godina).

Table 1.4.7. Air temperature ranks for WARM AUTUMN 2022. Station, air temperature (T), deviation from normal 1981-2010 (Tanom), air temperature percentile (Tperc), rank of the series sorted in a descending order (Warm rank), year of the warmest Autumn, 1961-2022 (Warmest year).

Postaja Station	T T	Tanom Tanom	Tperc Tperc	Rang topli Warm rank	Najtoplija godina Warmest year
Mali Lošinj	18,3	1,8	100	1	2022
Puntijarka	9,5	2,2	99	1	2006;2019;2022
Rab	17,9	1,6	98	1	2006;2019;2022
Bjelovar	12,8	1,9	96	2	2000;2006;2019
Križevci	12,3	2,0	98	2	2006;2012
Zavižan	7,0	2,1	99	2	1967
Parg	9,9	1,9	96	3	2006
Rijeka	16,3	1,7	98	3	2018
Senj	17,5	1,8	98	3	2018
Split-Marjan	18,7	1,7	98	3	2019
Bilogora	12,9	1,7	96	4	2000;2006
Daruvar	12,3	1,3	90	4	2000;2019
Gospić	11,1	1,7	96	4	2000
Hvar	19,1	1,4	96	4	2019
Komiža	18,8	0,9	87	4	1987;2000;2019
Lastovo	18,5	1,5	97	4	2019
Ogulin	12,1	1,5	93	4	2006
Slavonski Brod	12,9	1,8	96	4	2019
Šibenik	17,5	1,3	95	4	2018;2019
Zadar	17,6	1,5	97	4	2019
Zagreb-Maksimir	13,0	1,9	97	4	2006
Osijek	12,8	1,5	93	5	2000
Pazin	13,1	1,2	91	5	1987;2000
Sisak	12,8	1,6	95	5	2000
Varaždin	11,9	1,4	92	5	2006
Makarska	18,8	1,0	89	6	2012
Ploče	17,4	1,3	95	6	2019
Gradište	13,1	1,5	91	7	2019
Dubrovnik	18,9	1,2	93	9	2019

Tablica 1.4.8. Rangovi temperature zraka za TOPLU 2022. Postaja, temperatura zraka (T), odstupanje u odnosu na normalu 1981. – 2010. (Tanom), percentil temperature zraka (Tperc), rang niza sortiranog silazno (Rang topli), najtoplija godina u razdoblju 1961. – 2022. (Najtoplija godina).

Table 1.4.8. Air temperature ranks for WARM 2022. Station, air temperature (T), deviation from normal 1981-2010 (Tanom), air temperature percentile (Tperc), rank of the series sorted in a descending order (Warm rank), the warmest year in the period 1961-2022 (Warmest year).

Postaja Station	T T	Tanom Tanom	Tperc Tperc	Rang topli Warm rank	Najtoplija godina Warmest year
Bilogora	12,9	1,8	99	1	2022
Bjelovar	13,1	1,9	98	1	2022
Daruvar	12,5	1,5	99	1	2022
Gospić	11,1	2,0	100	1	2022
Gradište	13,6	2,0	99	1	2022
Križevci	12,5	2,1	100	1	2022
Lastovo	17,5	1,6	100	1	2022
Mali Lošinj	17,4	1,8	100	1	2022
Ogulin	12,1	1,7	98	1	2022
Osijek	13,0	1,7	99	1	2022
Parg	9,6	2,0	99	1	2022
Pazin	13,0	1,4	100	1	2022
Ploče	17,0	1,4	100	1	2018; 2022
Puntijarka	8,9	2,0	99	1	2022
Rab	17,3	1,7	100	1	2022
Rijeka	16,1	1,9	100	1	2022
Senj	17,0	1,9	100	1	2022
Sisak	13,0	1,6	98	1	2022
Slavonski Brod	13,0	1,8	99	1	2022
Split-Marjan	18,0	1,6	100	1	2022
Šibenik	17,1	1,5	100	1	2022
Zadar	16,9	1,6	100	1	2022
Zagreb-Maksimir	13,2	2,0	99	1	2022
Zavižan	6,0	2,0	100	1	2022
Dubrovnik	18,2	1,6	100	2	2018
Hvar	18,1	1,5	100	2	2018
Komiža	17,9	1,0	98	2	1994
Makarska	18,0	1,1	97	2	2011;2018
Varaždin	12,0	1,4	96	4	2014

Tablica 1.4.9. Rangovi količine oborine za SUHI OŽUJAK. Postaja, količina oborine (R), odstupanje u odnosu na normalu 1981. – 2010. (Ranom), percentil količine oborine (Rperc), rang niza sortiranog uzlazno (Rang suhi), godina s najsušnijim ožujkom u razdoblju 1961. – 2022. (Najsušnija godina).

Table 1.4.9. Precipitation amount ranks for DRY MARCH. Station, precipitation amount (R), deviation from normal 1981-2010 (Ranom), percentile of precipitation amount (Rperc), rank of the series sorted in an ascending order (Dry rank), year of the driest March, 1961-2022 (Driest year).

Postaja Station	R R	Ranom Ranom	Rperc Rperc	Rang suhi Dry rank	Najsušnija godina Driest year
Komiža	8,2	-62,1	11	2	1994
Lastovo	8,4	-53,9	4	2	1968
Ogulin	15,7	-91,8	0	2	2012
Zavižan	31,9	-127,4	2	2	2012
Bilogora	10,9	-42,8	1	3	2012
Bjelovar	8,4	-45,3	0	3	2003
Daruvar	12,5	-52,5	0	3	2012
Gospić	16,2	-79,0	2	3	2012
Gradište	10,2	-38,2	4	3	2003
Križevci	5,0	-46,5	0	3	2012
Osijek	6,4	-38,4	2	3	2012
Parg	18,9	-107,7	2	3	2012
Senj	13,7	-72,1	2	3	2012
Sisak	6,6	-52,1	0	3	2003
Varaždin	6,2	-48,7	0	3	2012
Puntijarka	17,0	-71,7	0	4	2012
Zagreb-Maksimir	8,7	-45,4	1	4	2012
Hvar	8,9	-55,7	8	5	2012
Slavonski Brod	10,9	-40,6	0	5	2012
Split-Marjan	7,0	-56,4	5	5	2012
Šibenik	9,0	-51,2	4	5	2012
Rab	16,8	-59,8	4	6	2012
Makarska	20,6	-67,6	7	7	2003
Mali Lošinj	19,6	-46,2	4	7	2012
Ploče	23,7	-79,9	11	7	2003
Pazin	19,7	-50,3	9	9	2012
Rijeka	36,6	-73,2	13	9	1973
Zadar	18,6	-41,5	12	9	2012
Dubrovnik	67,0	-30,6	33	22	2012

Tablica 1.4.10. Rangovi količine oborine za SUHO LJETO. Postaja, količina oborine (R), odstupanje u odnosu na normalu 1981. – 2010. (Ranom), percentil količine oborine (Rperc), rang niza sortiranog uzlazno (Rang suhi), godina s najsušnijim ljetom u razdoblju 1961. – 2022. (Najsušnija godina).

Table 1.4.10. Precipitation amount ranks for DRY SUMMER. Station, precipitation amount (R), deviation from normal 1981-2010 (Ranom), percentile of precipitation amount (Rperc), rank of the series sorted in an ascending order (Dry rank), year of the driest Summer, 1961-2022 (Driest year).

Postaja Station	R R	Ranom Ranom	Rperc Rperc	Rang suhi Dry rank	Najsušnija godina Driest year
Mali Lošinj	37,2	-113,2	1	1	2022
Ogulin	155,2	-178,2	2	1	2022
Parg	181,0	-212,9	0	1	2022
Rab	40,0	-126,5	1	1	2022
Zavižan	92,0	-236,4	0	1	2022
Puntijarka	183,3	-180,1	3	2	2021
Rijeka	99,7	-175,0	2	2	2003
Senj	72,4	-144,0	2	2	2003
Daruvar	149,4	-107,3	5	3	2003
Zagreb-Maksimir	141,0	-124,0	6	3	2000
Bilogora	129,7	-98,4	5	4	2000
Bjelovar	129,3	-108,7	5	4	2012
Osijek	127,2	-84,2	16	4	2000
Gospić	113,8	-110,8	9	5	2003
Križevci	124,5	-116,5	2	5	1967; 2012
Pazin	131,7	-115,3	7	5	2012
Slavonski Brod	123,9	-108,5	6	5	2012
Zadar	47,6	-77,7	9	5	1962
Gradište	125,0	-78,0	11	6	2012
Dubrovnik	43,2	-87,9	10	8	2017
Hvar	39,5	-67,3	13	8	2017
Sisak	164,7	-101,2	10	8	1983
Split-Marjan	54,2	-52,7	15	10	2017
Makarska	89,6	-38,4	28	13	2012
Šibenik	81,0	-40,2	22	16	1962
Varaždin	215,7	-49,5	30	19	1992
Komiža	101,1	1,3	58	30	2013
Lastovo	61,9	-8,5	52	30	2000
Ploče	136,5	8,3	60	34	2012

Tablica 1.4.11. Rangovi količine oborine za RUJAN. Postaja, količina oborine (R), odstupanje u odnosu na normalu 1981. – 2010. (Ranom), percentil količine oborine (Rperc), rang niza sortiranog silazno (Rang kišni), godina s najkišnijim rujnom u razdoblju 1961. – 2022. (Najkišnija godina).

Table 1.4.11. Precipitation amount ranks for SEPTEMBER Station, precipitation amount (R), deviation from normal 1981-2010 (Ranom), percentile of precipitation amount (Rperc), rank of the series sorted in a descending order (Wet rank), year of the wettest September, 1961-2022 (Wettest year).

Postaja Station	R R	Ranom Ranom	Rperc Rperc	Rang kišni Wet rank	Najkišnija godina Wettest year
Daruvar	286,3	188,4	99	1	2022
Rijeka	592,6	428,8	100	1	2022
Sisak	253,6	156,4	99	1	2022
Zagreb-Maksimir	259,1	165,0	100	1	2022
Ogulin	362,2	209,6	99	2	2017
Parg	480,7	292,2	98	2	1998
Ploče	259,9	168,5	98	2	1996
Puntijarka	311,8	184,6	99	2	2017
Slavonski Brod	180,4	105,1	97	2	2001
Osijek	148,4	85,5	95	3	2001
Varaždin	211,9	113,6	98	3	2014
Bjelovar	195,3	105,3	96	4	1967
Bilogora	194,7	101,2	94	5	1996
Gradište	118,7	56,1	88	5	2001
Gospić	222,6	73,9	82	7	2017
Križevci	154,2	65,8	91	7	2010
Senj	252,1	99,4	85	7	1984
Pazin	169,6	69,8	88	9	2017
Dubrovnik	134,3	54,0	86	14	2014
Zavižan	241,4	56,1	73	17	2017
Zadar	109,8	2,7	60	24	2017
Rab	131,4	-1,5	56	30	2017
Makarska	64,2	-20,9	45	36	2003
Šibenik	45,2	-28,4	37	36	2014
Mali Lošinj	66,4	-31,9	36	38	2017
Split-Marjan	27,6	-44,8	23	45	1996
Lastovo	26,6	-28,7	33	46	1989
Komiža	17,5	-36,3	13	49	2014
Hvar	19,5	-38,5	18	52	2014



Tablica 1.4.12. Rangovi količine oborine za 2022. Postaja, količina oborine (R), odstupanje u odnosu na normalu 1981. – 2010. (Ranom), percentil količine oborine (Rperc), rang niza sortiranog uzlazno (Rang suhi), najsušnija godina tijekom razdoblja 1961. – 2022.

Table 1.4.12. Precipitation amount ranks for 2022. Station, precipitation amount (R), deviation from normal 1981-2010 (Ranom), percentile of precipitation amount (Rperc), rank of the series sorted in an ascending order (Dry rank), driest year in 1961-2022 period.

Postaja Station	R R	Ranom Ranom	Rperc Rperc	Rang suhi Dry rank	Najsušnija godina Driest year
Lastovo	368,0	-264,2	4	1	1983;2022
Dubrovnik	767,2	-293,4	11	2	1991
Komiža	410,0	-305,7	3	2	1983
Makarska	715,2	-292,8	4	2	2011
Mali Lošinj	600,0	-327,3	5	3	1983
Split-Marjan	529,3	-246,8	6	3	1989
Hvar	483,3	-223,3	8	4	1983
Pazin	809,6	-234,1	10	4	2015
Zadar	671,2	-182,8	12	5	2011
Rab	840,2	-246,9	12	8	2011
Zavižan	1583,1	-389,9	13	9	1983
Parg	1596,5	-217,3	26	10	2011
Puntijarka	1038,5	-214,4	17	10	2011
Križevci	684,1	-106,6	23	13	2011
Ploče	934,9	-141,7	28	14	1989
Osijek	585,9	-97,3	28	15	2000
Šibenik	659,7	-90,3	28	15	2011
Gospić	1249,4	-105,6	35	16	2011
Bjelovar	740,5	-54,4	37	20	2011
Slavonski Brod	721,2	-47,9	38	20	2011
Gradište	604,8	-80,8	32	21	2000
Zagreb-Maksimir	826,3	-18,8	47	23	2011
Varaždin	827,1	-4,9	50	27	2011
Bilogora	793,8	-22,6	46	29	2011
Ogulin	1487,3	-26,2	48	29	1983
Daruvar	891,6	-10,8	49	30	2011
Rijeka	1567,1	18,5	54	32	2003
Senj	1263,3	39,7	58	35	2003
Sisak	1002,8	84,0	70	46	2011

Na Lastovu je 2022. bila najsušnija godina u razdoblju 1961. – 2022., a na osam postaja bila je od druge do pete najsušnija (tablica 1.4.12). Na samo tri postaje oborina je bila neznatno viša od prosjeka. Na petnaest postaja 2011. i dalje ostaje najsušnija godina u razdoblju 1961. – 2022.

On Lastovo, 2022 was the driest year in the period 1961-2022, and on eight stations it ranked between the second and the fifth driest years (Table 1.4.12). Precipitation was slightly higher than average at only three stations. At fifteen stations, 2011 remains the driest year in the period 1961-2022.

## 2. ANALIZA SREDNJEG MJESEČNOG VISINSKOG STRUJANJA IZNAD HRVATSKE U 2022. GODINI

Krunoslav Mikec, Dunja Plačko-Vršnak,  
Tomislava Hojsak, Marija Mokorić

Srednja mjesečna visinska situacija sinoptičkih razmjera na izobarnoj plohi AT 500 hPa može pokazati prevladavajuće visinsko strujanje nad određenim predjelima tijekom mjeseca te se njezinom analizom mogu u znatnoj mjeri objasniti mjesečne vrijednosti pojedinih meteoroloških elemenata, primjerice srednje mjesečne prizemne temperature zraka, a najčešće i mjesečne količine oborine.

Stoga je provedena meteorološka analiza 2022. godine pregledom srednjih mjesečnih situacija, odnosno strujanja i polja temperature nad širim područjem Europe i sjevernog Atlantika.

U siječnju je nad našom zemljom srednje mjesečno strujanje na izobarnoj plohi AT 500 hPa bio greben koji je zahvaćao gotovo cijelu zapadnu polovinu kontinenta, od juga do sjevera, i na čijoj su prednjoj strani bili naši krajevi. Visinska dolina bila je iznad istočne Europe, ali i iznad sjevernog Atlantika. U takvim okolnostima sa sjevera nam je pritjecao i iznad nas se zadržavao ne odveć hladan i vlagom siromašan zrak. Srednja mjesečna temperatura zraka na 2 m bila je većinom oko višegodišnjeg srednjaka 1981. – 2010., ponegdje malo viša (poglavlje 1). Mjesečna količina oborine bila je uglavnom manja od prosjeka, mjestimice i znatno manja (poglavlje 1).

I u veljači je srednje mjesečno visinsko stanje bila prednja strana grebena koji se pružao sa zapada. Pritom je zapadna komponenta strujanja bila jače izražena nego u siječnju, što je značilo pritjecanje razmjerno toplog i vlagom relativno bogatog zraka. Dolina je ponovno bila iznad istočne polovine kontinenta, ali slabije izražena nego u siječnju. Srednja mjesečna temperatura zraka na 2 m bila je viša od prosječne, dok je mjesečna količina oborine bila uglavnom oko prosjeka (poglavlje 1).

U prva dva mjeseca vrijednosti NAO indeksa bile su pozitivne, što upućuje na povećan gradijent u polju tlaka zraka između azorske anticiklone i islandske ciklone (tablica 2.1). U veljači, kada je islandska ciklona bila jače izražena, vrijednosti NAO indeksa bile su veće, što je omogućilo dotok relativno toplog i vlažnog oceanskog zraka do naših krajeva.

U ožujku je nad našom zemljom kao srednje mjesečno stanje na izobarnoj plohi AT 500 hPa bio izražen greben koji je zahvaćao gotovo cijelu Europu, što upućuje na tzv. blocking situaciju. Os grebena bila je malo zapadnije od naših krajeva. Pritjecao nam je relativno hladan i suh zrak sa sjevera. Srednja mjesečna temperatura zraka na 2 m u ožujku bila je uglavnom niža od višegodišnjeg prosjeka (poglavlje 1). Mjesečna količina oborine bila je zamjetno manja od klimatološkog srednjaka (poglavlje 1).

U travnju su prema srednjem mjesečnom strujanju naši krajevi bili između grebena koji je zahvaćao zapad kontinenta i doline koja je bila iznad sjeveroistočnih i istočnih krajeva Europe. Takva situacija upućuje na pritjecanje razmjerno hladnog i vlažnog zraka sa sjevero-

## 2. ANALYSIS OF THE MEAN MONTHLY UPPER-AIR FLOW OVER CROATIA IN 2022

Krunoslav Mikec, Dunja Plačko-Vršnak,  
Tomislava Hojsak, Marija Mokorić

The mean monthly upper-air synoptic-scale situation on the AT 500 hPa isobaric surface can show the predominant upper-air flow over certain areas in a month, and its analysis can go a long way toward explaining the monthly values of individual meteorological elements, for example the mean monthly surface air temperatures, and often also the monthly precipitation amounts.

A meteorological analysis was therefore performed for 2022 by reviewing the mean monthly situations, or the flows and temperature fields over the wider area of Europe and the North Atlantic.

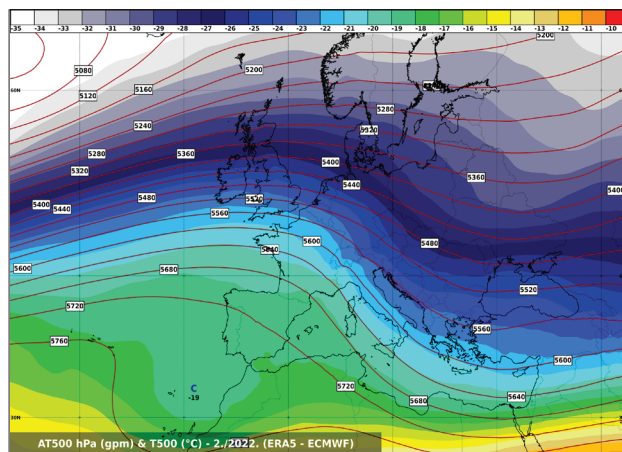
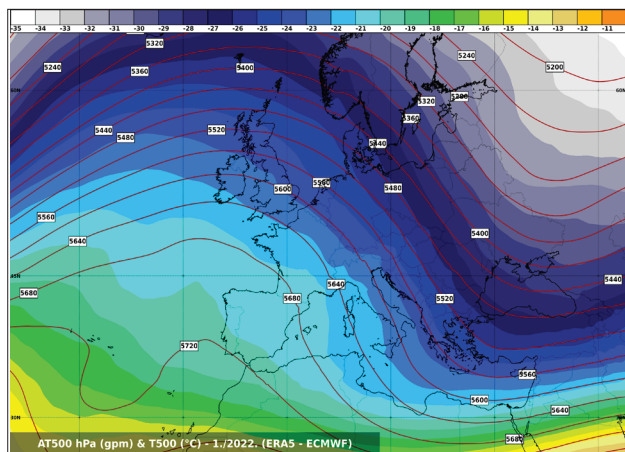
In January, the mean monthly flow over Croatia on the AT 500 hPa isobaric surface was characterized by a ridge covering almost the entire western half of the continent, from the south to the north, with Croatia on its front side. The upper-air trough was located above eastern Europe and the North Atlantic. Such circumstances brought not too cold and dry air to Croatia from the north, which remained above Croatia. The average monthly air temperature at 2m was mostly around the 1981-2010 multiannual average, sometimes a little higher (Section 1). The monthly precipitation amount was mostly lower than the average, and in some places significantly lower (Section 1).

In February, the mean monthly upper-air situation was characterized by the front side of a ridge extending from the west. However, the westerly component of the flow was more pronounced than in January, resulting in the influx of relatively warm and moist air. The trough was again located over the eastern half of the continent, but it was less pronounced than in January. The mean monthly air temperature at 2m was higher than the average, while the monthly precipitation amount was mostly around the average (Section 1).

Positive NAO index values in the first two months are indicative of an increased gradient in the air pressure field between the Azores High and the Icelandic Low (Table 2.1). In February, when the Icelandic Low was more pronounced, NAO index values were higher, allowing the circulation of relatively warm and moist oceanic air to Croatia.

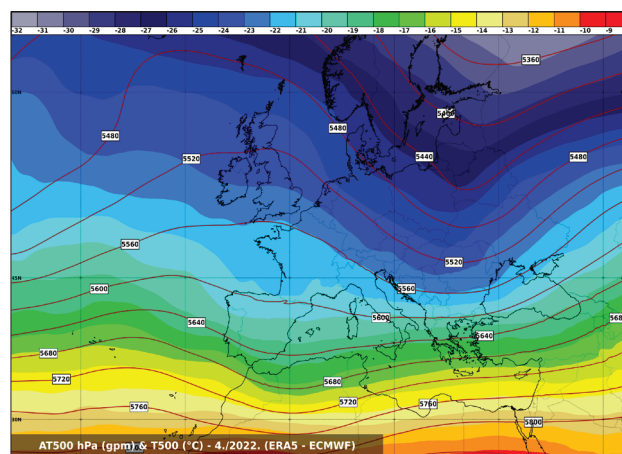
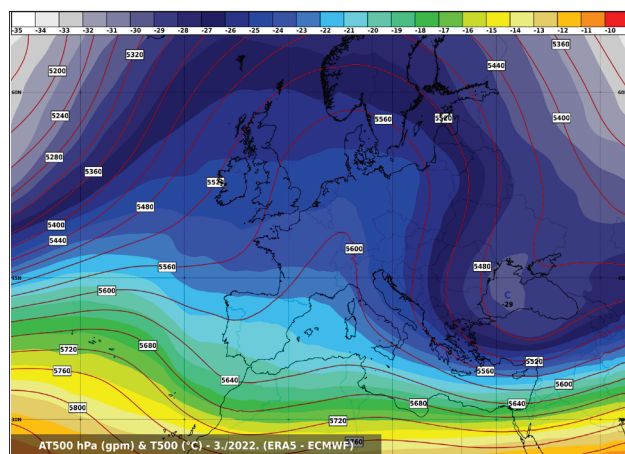
In March, the mean monthly situation over Croatia on the AT 500 hPa isobaric surface consisted of a pronounced ridge covering almost all of Europe, which points to so-called blocking. The axis of the ridge was located a little to the west of Croatia. Relatively cold and dry air flowed in from the north. The average monthly air temperature at 2m in March was mostly lower than the multiannual average (Section 1). The monthly precipitation amount was considerably lower than the climatological mean (Section 1).

The mean monthly flow in April placed Croatia between the ridge that covered the west of the continent and the trough that was located above the northeastern and eastern Europe. Such a situation indicates the influx of relatively cold and moist air from the northwest. The average monthly air temperature at 2m in April was lower than the multiannual average (Section 1) almost everywhere. The



Slika 2.1. Srednje mjesečne geopotencijalne visine iznad morske razine (dam, izolinije) i temperatura (°C, obojeno) na izobarnoj plohi 500 hPa (skraćeno: AT 500 hPa) za: a) siječanj (lijevo) i b) veljaču (desno) za 00 UTC (izvor ECMWF ERA5 realniza).

Figure 2.1. Mean monthly geopotential heights above sea level (dam, isolines) and temperature (°C, colours) at the 500 hPa isobaric surface (abbreviated: AT 500 hPa) for: a) January (left) and b) February (right) at 00 UTC (source: ECMWF ERA5 reanalysis).



Slika 2.2. Srednje mjesečne geopotencijalne visine iznad morske razine (dam, izolinije) i temperatura (°C, obojeno) na izobarnoj plohi 500 hPa (skraćeno AT 500 hPa) za: a) ožujak (lijevo) i b) travanj (desno) za 00 UTC (izvor: ECMWF ERA5 realniza).

Figure 2.2. Mean monthly geopotential heights above sea level (dam, isolines) and temperature (°C, colours) at the 500 hPa isobaric surface (abbreviated: AT 500 hPa) for: a) March (left) and b) April (right) at 00 UTC (source: ECMWF ERA5 reanalysis).

zapada. Srednja mjesečna temperatura zraka na 2 m u travnju je bila gotovo posvuda niža od višegodišnjeg srednjaka (poglavlje 1). Mjesečna količina oborine u većini je krajeva bila oko prosječne ili veća od prosječne (poglavlje 1).

U svibnju je nad našim dijelom Europe prema srednjem mjesečnom strujanju bio termobarički greben. Doline su bile daleko nad Atlantskim oceanom te na krajnjem sjeveroistoku i istoku Europe, a iznad srednje Europe uspostavilo se zapadno strujanje. K nama je stoga pritjecao i iznad nas se zadržavao razmjerno topao i vlagom ne odveć bogat zrak. Srednja mjesečna temperatura zraka na 2 m bila je gotovo posvuda viša od klimatološkog srednjaka za svibanj, ponegdje i znatno viša (poglavlje 1). Količina oborine samo je rijetko gdje bila oko ili veća od višegodišnjeg srednjaka, a manje je kiše od prosjeka bilo u većem dijelu Hrvatske, osobito na jugu (poglavlje 1).

monthly precipitation amount was around the average or higher in most regions (Section 1).

In May, the mean monthly flow was characterized by a thermobaric ridge over our part of Europe. The troughs were located far away on the Atlantic Ocean and in the far northeast and east of Europe, and a westerly flow was established over central Europe. Relatively warm and dry air was brought to and stayed above Croatia as a result. The average monthly air temperature at 2m was higher than the climatological mean for May almost everywhere, and in some places, it was significantly higher (Section 1). The precipitation amount was around the multiannual average or higher in only a few places, while most of Croatia, especially in south, had below-average rainfall (Section 1).

NAO index values were positive in March and May, but lower than in January and February, indicating weaker flows than in the two winter months, and the circulation of relatively dry air to Croatia (Table 2.1). In April, the NAO in-



U ožujku i svibnju vrijednosti NAO indeksa bile su pozitivne, ali niže nego u siječnju i veljači, što upućuje na manje izražena strujanja nego u dva zimska mjeseca uz dotok vlagom relativno siromašnog zraka do naših krajeva (tablica 2.1). U travnju je NAO indeks bio blago negativan, odnosno gradijenti u polju tlaka zraka između azorske anticiklone i islandske ciklone bili su smanjeni. To je omogućavalo prodiranje vlažnijeg zraka sa sjeverozapada do naših krajeva te povremeno i njegovo zadržavanje.

Prema srednjem mjesečnom strujanju na AT 500 hPa termobarički greben bio je iznad naših krajeva i u lipnju. Pružao se od sjevera Afrike preko Sredozemnog mora prema sjeveroistoku Europe. Dolina je bila iznad Atlantskog oceana, posebice uz jugozapad Europe, te druga iznad jugoistočnog dijela kontinenta. U takvim okolnostima pritecao nam je vrlo topao i većinom suh zrak. U lipnju je srednja mjesečna temperatura zraka na 2 m bila zamjetno viša od prosjeka (poglavlje 1). Mjesečna količina oborine u mnogim je područjima bila znatno manja od višegodišnjeg srednjaka, a u ostalima prosječna (poglavlje 1).

I u srpnju je naša zemlja bila pod djelovanjem termobaričkog grebena prema srednjem mjesečnom strujanju na AT 500 hPa. Greben se pružao od sjevera Afrike preko Sredozemnog mora do središnjeg dijela Europe. Visinska dolina bila je iznad sjeveroistoka kontinenta. Stoga je i u srpnju srednja mjesečna temperatura zraka na 2 m bila zamjetno viša od prosječne, dok je količina oborine bila uglavnom manja od klimatološkog srednjaka, samo rijetko oko ili viša od njega (poglavlje 1).

Slično srednje mjesečno visinsko strujanje u ljetnim mjesecima (lipanj i srpanj) uz uglavnom male negativne vrijednosti NAO indeksa upućuju na to da je u ljetnim mjesecima izraženiji utjecaj pojačanog strujanja s Atlantika ili pojačane ciklonalne aktivnosti iz Sredozemlja izostao. Stoga su lokalni čimbenici (raspodjela kopna i mora i različito zagrijavanje te orografija) uvelike određivali vremenske prilike u spomenutim mjesecima.

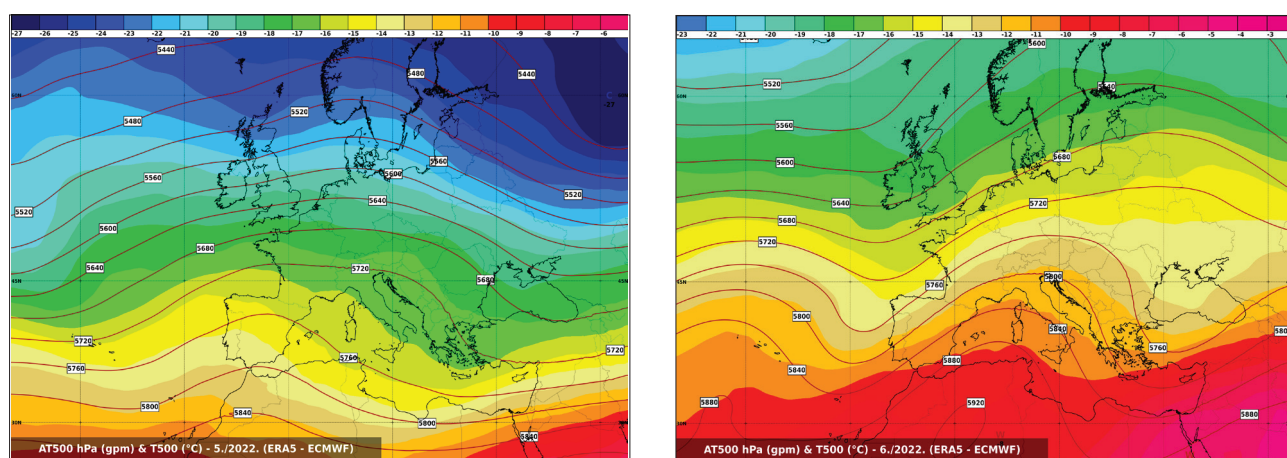
dex was slightly negative, and the gradients in the air pressure field between the Azores High and the Icelandic Low were reduced. This enabled the penetration and occasional retention of moist air from the northwest.

The mean monthly flow on the AT 500 hPa shows that the thermobaric ridge was above Croatia in June as well. It stretched from the north of Africa across the Mediterranean Sea to the northeast of Europe. The ridge was above the Atlantic Ocean, especially along the southwest of Europe, and there was another one above the southeast part of the continent. In such circumstances, very warm and mostly dry air was brought to Croatia. In June, the mean monthly air temperature at 2m was noticeably higher than the average (Section 1). The monthly precipitation amount was significantly lower than the multiannual average in many areas, and only in some places the precipitation amount was around the average.

In July, our country was under the influence of the thermobaric ridge according to the mean monthly flow on the AT 500 hPa. The ridge stretched from the north of Africa across the Mediterranean Sea to the central part of Europe. The upper-level trough was above the northeast of the continent. Therefore, the mean monthly air temperature at 2m was noticeably higher than average in July as well, while the precipitation amount was mostly lower than the climatological mean, and around or higher than normal only in some places (Section 1).

Similar mean monthly upper-air flow in the summer months (June and July), with mostly small negative values of the NAO index, indicates that the stronger influence of the increased flow from the Atlantic or increased cyclonic activity from the Mediterranean was absent in the summer months. Therefore, local factors (distribution of land and sea, different heating and orography) largely determined the weather conditions in these months.

According to the mean monthly flow on the AT 500 hPa in August, a thermobaric ridge extended from northern Africa and the western Mediterranean to the Adriatic Sea, and a trough without gradients in the isohypse field was located over most of central, eastern, and southeastern



Slika 2.3. Srednje mjesečne geopotencijalne visine iznad morske razine (dam, izolinije) i temperature (°C, obojeno) na izobarnoj plohi 500 hPa (skraćeno AT 500 hPa) za: a) svibanj (lijevo) i b) lipanj (desno) za 00 UTC (izvor: ECMWF ERA5 reanaliza).

Figure 2.3. Mean monthly geopotential heights above sea level (dam, isolines) and temperature (°C, colours) at the 500 hPa isobaric surface (abbreviated: AT 500 hPa) for: a) May (left) and b) June (right) at 00 UTC (source: ECMWF ERA5 reanalysis).

Tablica 2.1. Vrijednosti NAO\* (engl. North Atlantic Oscillation) indeksa u 2022. po mjesecima, izvor: <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/nao/>.

Table 2.1. Monthly values of NAO\* (North Atlantic Oscillation) index in 2022, source: <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/nao/>.

2022.	Siječanj January	Veljača February	Ožujak March	Travanj April	Svibanj May	Lipanj June
NAO index	+1,08	+1,68	+0,77	-0,36	+0,71	-0,12

2022.	Srpanj July	Kolovoz August	Rujan September	Listopad October	Studeni November	Prosinac December
NAO index	-0,09	+1,47	-1,61	-0,72	+0,69	-0,15

\* NAO indeks – indeks sjevernoatlantske oscilacije odnosi se na razliku u prizemnom tlaku između subtropskog područja visokog tlaka – azorske anticiklone i subpolarnog područja niskog tlaka – islandske ciklone (razlika u prizemnom tlaku izmjenom na meteorološkoj postaji u Ponta Delgadi i Reykjaviku). Gradijent tlaka između tih dvaju sustava određuje smjer i jačinu strujanja s Atlantika nad europskim kopnom. Prosječna pozicija i jačina azorske anticiklone i islandske ciklone variraju iz mjeseca u mjesec, tijekom sezona, odnosno iz godine u godinu i upravo ta varijacija određuje NAO indeks, odnosno njegov predznak. Pokazalo se da velika razlika u tlaku između tih dvaju sustava – izražena kao NAO+ – za posljedice ima jako zapadno strujanje te indirektno blage zime u srednjoj Europi. Također razlika može biti povezana s pozitivnom anomalijom temperature iznad sjeverne Europe te katkad negativnom anomalijom iznad južne Europe i Bliskog istoka. Kad je riječ o oborini, NAO+ je najčešće povezan s količinom većom od prosjeka iznad sjeverne Europe i Skandinavije te manjkom oborine iznad srednje i južne Europe. S druge strane NAO– opisuje situaciju kada je gradijent tlaka između tih dvaju sustava slabo izražen, odnosno slabije je strujanje s Atlantika, pa u sjevernoj Europi zima često može biti hladna i suha, a putanje ciklona pomaknute su južnije. To za posljedice može imati pojačanu ciklonalnu aktivnost u Sredozemlju uz više oborina na području južne Europe i sjeverne Afrike. Veza između NAO indeksa i prevladavajućeg tipa vremena izraženija je u hladnom dijelu godine.

\* NAO index – North Atlantic Oscillation index refers to the difference in mean sea level pressure between the subtropical area of high pressure over the Azores and the subpolar area of low pressure over Iceland. Air pressure gradient between these two systems determines the direction and the strength of air flow from the Atlantic to the European continent. The position and the strength of the high-pressure system over the Azores and the low-pressure system over Iceland varies on monthly, seasonal and annual basis, and this variation determines the positive or negative sign of the NAO index. A large air pressure difference between these two systems, expressed as NAO+, causes a strong westerly flow and indirectly cooler summer seasons and mild winter seasons in central Europe. Moreover, it is associated with a positive temperature anomaly over northern Europe, and sometimes a negative temperature anomaly over southern Europe and the Middle East. The NAO index is also in correlation with precipitation. NAO+ usually causes an above average precipitation amount over northern Europe and Scandinavia, and precipitation deficit over central and southern Europe. On the other hand, NAO- describes a situation with lower air pressure gradients between these two pressure systems, and consequently weaker air flow from the Atlantic. Winter seasons can be cold and dry in the northern part of Europe in such circumstances. Low pressure system trajectories are moved to the south, which causes strong cyclonic activity in the Mediterranean, with more precipitation in southern Europe and in north Africa. The connection between the NAO index and the prevailing weather regime is more significant in the colder part of a year.

Prema srednjem mjesečnom strujanju na AT 500 hPa u kolovozu se od sjevera Afrike i zapadnog Sredozemlja do Jadranskog mora pružao termobarički greben, a iznad većeg je dijela središnje, istočne i jugoistočne Europe bila dolina bez gradijenata u polju izohipsi. Naša je zemlja bila na granici između tih dvaju sustava. U takvim se okolnostima iznad nas zadržavao topao i povremeno vlažan i nestabilan zrak. Srednja mjesečna temperatura zraka na 2 m u kolovozu je bila viša od klimatoloških srednjih vrijednosti, a ponegdje i zamjetno viša (poglavlje 1). Količina oborine uglavnom je bila manja od prosječne (poglavlje 1).

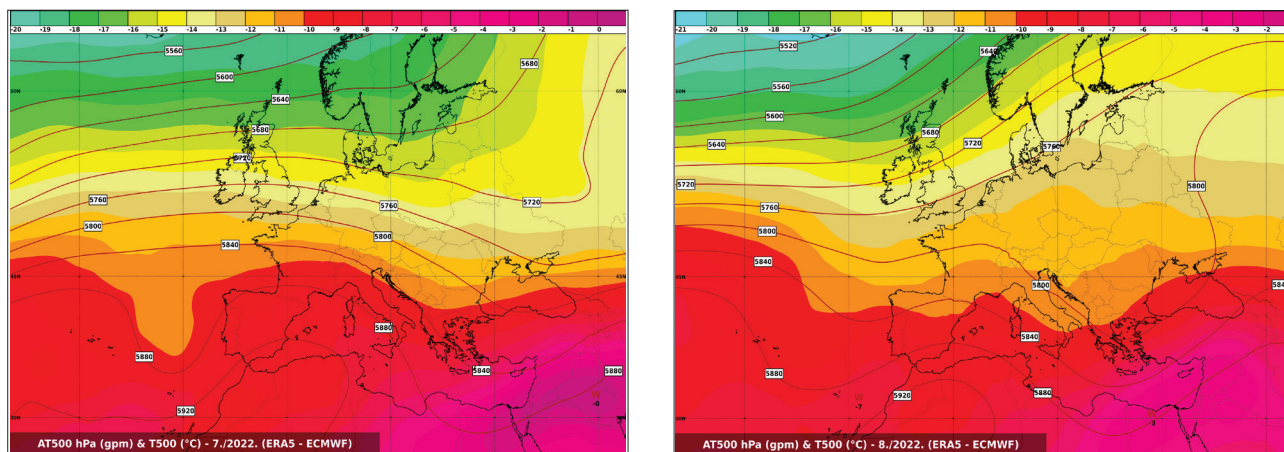
Srednje mjesečno visinsko strujanje u rujnu je nad našom zemljom bilo uglavnom zonalno. Izražena je visinska dolina bila na sjeveroistoku kontinenta, a druga, slabije izražena, uz obalu jugozapadne Europe. Iznad Sredozemnog mora bio je greben. Srednja mjesečna temperatura zraka na 2 m bila je uglavnom oko srednjaka ili tek neznatno viša od njega, a oborine je bilo uglavnom više od prosjeka, u kopnenim područjima, na dijelu

Europe. Croatia was between those two systems. In such circumstances, relatively warm and occasionally humid and unstable air stayed above Croatia. The mean monthly air temperature at 2m in August was higher than the climatological mean values, and in some places noticeably higher (Section 1). The amount of precipitation was mostly below average (Section 1).

In September, the mean monthly upper-air flow over Croatia was mainly zonal. A pronounced upper-air trough was in the northeast of the continent, and another less pronounced one was located along the coast of southwestern Europe. A ridge was above the Mediterranean Sea. The average monthly air temperature at 2m was mostly around the average, or slightly higher than the average, and the precipitation amount was mostly higher than average, noticeably exceeding it in continental Croatia, in parts of northern Adriatic, and in the southernmost parts of the country (Section 1).

The value of the NAO index was positive in August, and extremely negative in September (Table 2.1). Thus, in September, in a situation characterized by a reduced gradi-





Slika 2.4. Srednje mjesečne geopotencijalne visine iznad morske razine (dam, izolinije) i temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ , obojeno) na izobarnoj plohi 500 hPa (skraćeno AT 500 hPa) za: a) srpanj (lijevo) i b) kolovoz (desno) za 00 UTC (izvor: ECMWF ERA5 reanaliza).

Figure 2.4. Mean monthly geopotential heights above sea level (dam, isolines) and temperature ( $^{\circ}\text{C}$ , colours) at the 500 hPa isobaric surface (abbreviated: AT 500 hPa) for: a) July (left) and b) August (right) at 00 UTC (source: ECMWF ERA5 reanalysis).

sjevernog Jadrana i na krajnjem jugu zemlje i zamjetno više (poglavlje 1).

Vrijednost NAO indeksa u kolovozu je bila pozitivna, a u rujnu izrazito negativna (tablica 2.1). Tako je u rujnu, u situaciji sa smanjenim gradijentom u polju tlaka zraka između islandske ciklone i azorske anticiklone, k nama pritjecao i zadržavao se razmjerno vlažan i ne odveć topao oceanski zrak s jedne strane, ali je često bilo i pritjecanje toplijeg zraka u jugozapadnoj visinskoj struji sa Sredozemlja (izvor: [https://klima.hr/razno/publikacije/jesen2022\\_tipovi.pdf](https://klima.hr/razno/publikacije/jesen2022_tipovi.pdf)), što je za posljedicu imalo i višak oborina na mjesečnoj skali. S druge strane, iako sjevernoatlantska oscilacija značajnije utječe na vrijeme u Europi u zimskom dijelu godine, pozitivna vrijednost u kolovozu upućuje na postojanje gradijenata u polju tlaka zraka preko Europe, ali i dalje uz lokalne čimbenike koji imaju prevladavajući utjecaj na vrijeme nad našim krajevima.

Srednje mjesečno strujanje u listopadu nad našom zemljom ponovno je bio termobarički greben, koji se pružao od sjevera Afrike preko Sredozemnog mora sve do Skandinavije, što upućuje na tzv. blocking situaciju nad Europom, slično kao i u ožujku. Os grebena bila je malo zapadnije od nas. Duboka dolina bila je daleko nad Atlantskim oceanom te druga nad istočnim Sredozemljem i jugoistokom Europe uz dotok toplog i vlagom siromašnog zraka. Srednja mjesečna temperatura na 2 m u listopadu je bila zamjetno viša od klimatološkog srednjaka u većini područja (poglavlje 1). Mjesečna količina oborine bila je manja od prosječne, a u nekim je predjelima bilo i ekstremno sušno (poglavlje 1).

Negativna faza sjevernoatlantske oscilacije (NAO-) u listopadu je upućivala na manji gradijent u polju izobara/geopotencijala između sjevera i juga. Stoga je pritjecanje toplog zraka, uglavnom s juga, imalo prevladavajući utjecaj na vremenske prilike.

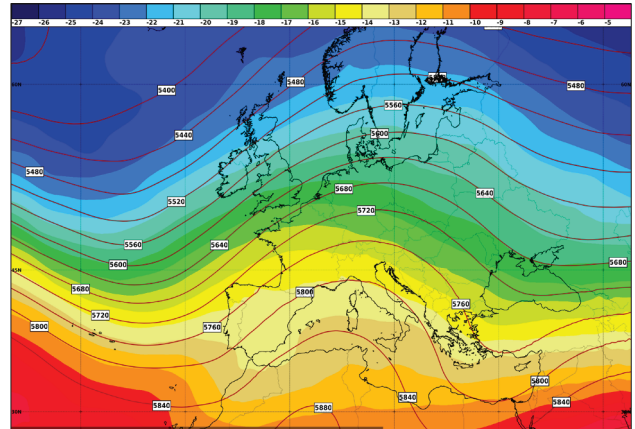
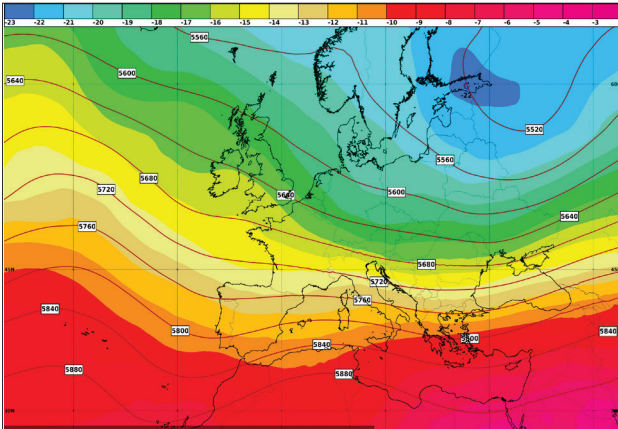
U studenom je prema srednjem mjesečnom strujanju na AT 500 hPa iznad naše zemlje bila dolina koja nije bila previše izražena. Jugozapad kontinenta bio je pod utjecajem grebena, slično vrijedi i za sjeveroistok, a na sjeveru Atlantskog oceana bila je duboka visinska

ent in the air pressure field between the Icelandic Low and the Azores High, relatively moist and not too warm oceanic air was brought to Croatia and remained there. However, the influx of warmer air in the southwest upper-air current from the Mediterranean was also common (source: [https://klima.hr/razno/publikacije/jesen2022\\_tipovi.pdf](https://klima.hr/razno/publikacije/jesen2022_tipovi.pdf)), resulting in excess precipitation on a monthly scale. On the other hand, although the North Atlantic Oscillation significantly affects the weather in Europe during the winter, the positive value in August is indicative of the existence of gradients in the air pressure field over Europe, but there are still local factors that have a predominant influence on the weather over our region.

The mean monthly flow in October above Croatia was again characterized by a thermobaric ridge. It stretched from the north of Africa across the Mediterranean Sea all the way to Scandinavia, which indicates so-called blocking over Europe, like in March. The axis of the ridge was located to the west of Croatia. There was a deep trough far away over the Atlantic Ocean, and another one over eastern Mediterranean and southeastern Europe, bringing in warm and dry air. The mean monthly air temperature at 2m in October was noticeably higher than the climatological mean in most areas (Section 1). The monthly precipitation amount was lower than the average, and some areas were extremely dry (Section 1).

The negative phase of the North Atlantic Oscillation (NAO-) in October indicated a smaller gradient in the isobar/geopotential field between the north and the south. The weather was therefore predominantly influenced by the influx of warm air, mainly from the south.

In November, the mean monthly flow on the AT 500 hPa indicates that there was a rather weak trough above Croatia. The southwest of the continent was under the influence of a ridge, as was the northeast. A deep upper-air low was in the north of the Atlantic Ocean. In such circumstances, relatively moist and warm air was flowing towards Croatia from the Atlantic at upper-air level. The average monthly air temperature at 2m was a little higher than the average (Section 1). The precipitation amount was higher than the multiannual average, or at least around it, in most of the country (Section 1).



Slika 2.5. Srednje mjesečne geopotencijalne visine iznad morske razine (dam, izolinije) i temperatura (°C, obojeno) na izobarnoj plohi 500 hPa (skraćeno AT 500 hPa) za: a) rujan (lijevo) i b) listopad (desno) za 00 UTC (izvor: ECMWF ERA5 reanaliza).

Figure 2.5. Mean monthly geopotential heights above sea level (dam, isolines) and temperature (°C, colours) at the 500 hPa isobaric surface (abbreviated: AT 500 hPa) for: a) September (left) and b) October (right) at 00 UTC (source: ECMWF ERA5 reanalysis).

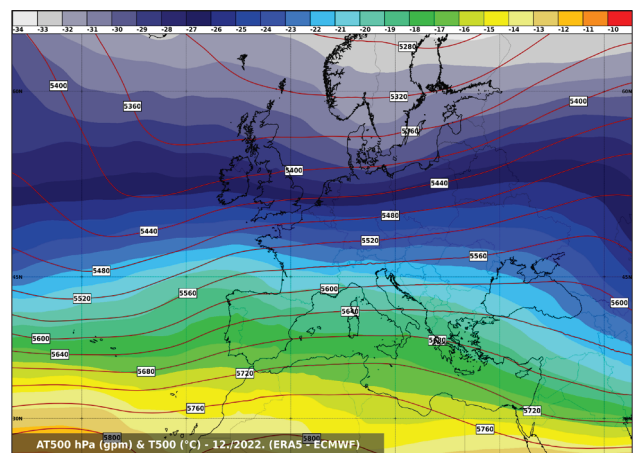
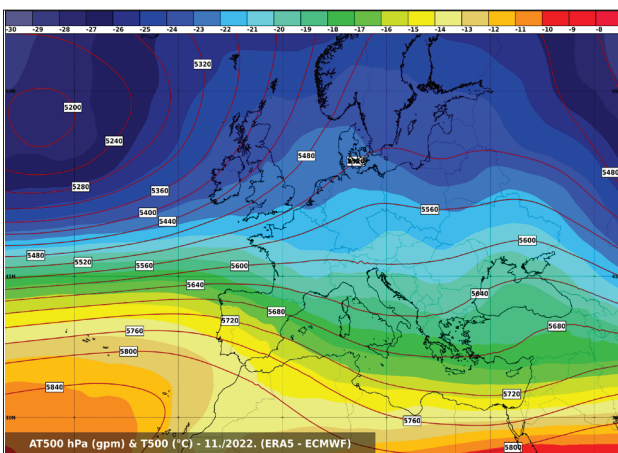
ciklona. Po visini nam je u tim okolnostima pritecao relativno vlažan i razmjerno topao zrak s Atlantika. Srednja mjesečna temperatura zraka na 2 m posvuda je bila malo viša od prosjeka (poglavlje 1). Količina oborine u najvećem je dijelu zemlje bila veća od višegodišnjeg srednjaka ili najmanje oko njega (poglavlje 1).

U prosincu je srednje mjesečno visinsko strujanje iznad Hrvatske bilo zonalno, kao i iznad većeg dijela Europe. Izražena je dolina bila iznad krajnjeg sjevera i sjeverozapada kontinenta, a greben je bio iznad krajnjeg istoka Europe te drugi, slabije izražen, iznad dijela Sredozemnog mora. Do nas je stoga pritecao razmjerno vlažan i ne odveć hladan oceanski zrak. I u prosincu je srednja mjesečna temperatura zraka na 2 m u cijeloj zemlji bila viša od prosjeka, a količina oborine bila je veća od prosječne u većini krajeva (poglavlje 1).

Iako je i u studenom i prosincu bilo toplije od uobičajenog te uz više oborine od prosjeka (poglavlje 1), izmjena pozitivne (NAO+ u studenom) i negativne (NAO-

In December, the mean monthly upper-air flow over Croatia was zonal, like over most of Europe. A pronounced trough was located over the far north and northwest of the continent, and the ridge was over the far east of Europe, along with another less pronounced one over a part of the Mediterranean Sea. Relatively moist and not too cold ocean air was therefore brought to Croatia. In December, the average monthly air temperature at 2m in the whole country was also higher than average, and the precipitation amount was higher than average in most regions (Section 1).

Although November and December were warmer than usual, with above-average precipitation amounts (Section 1), the alternation between positive (NAO+ in November) and negative (NAO- in December) phases of the North Atlantic Oscillation is indicative of a variability in weather regimes prevailing in our part of the continent. The low NAO- value in December indicates small gradients in the air pressure field, which allowed the relatively quick



Slika 2.6. Srednje mjesečne geopotencijalne visine iznad morske razine (dam, izolinije) i temperatura (°C, obojeno) na izobarnoj plohi 500 hPa (skraćeno AT 500 hPa) za: a) studeni (lijevo) i b) prosinac (desno) za 00 UTC (izvor: ECMWF ERA5 reanaliza).

Figure 2.6. Mean monthly geopotential heights above sea level (dam, isolines) and temperature (°C, colours) at the 500 hPa isobaric surface (abbreviated: AT 500 hPa) for: a) November (left) and b) December (right) at 00 UTC (source: ECMWF ERA5 reanalysis).

u prosincu) faze sjevernoatlantske oscilacije upućuje na promjenljivost vremenskih režima koji su prevladavali iznad našeg dijela kontinenta. Mala vrijednost NAO-a u prosincu upućuje na male gradijente u polju tlaka zraka, što je omogućavalo relativno brzo premještanje poremećaja odnosno dolina u polju geopotencijala sa zapada preko Hrvatske na istok.

## Zaključak

Tijekom 2022. godine najčešće srednje mjesečno strujanje iznad našeg dijela kontinenta bio je termobariki greben. Naši su krajevi pod utjecajem doline bili samo u studenom te travnju, djelomično i u kolovozu, iako je dominantno bilo bezgradijentno polje. U prosincu je iznad našeg dijela Europe strujanje bilo zonalno, na granici između doline na sjeveru i grebena na jugu. Slično je bilo i u rujnu, kada je strujanje imalo zapadnu, ali i sjeverozapadnu komponentu na stražnjoj strani doline koja se nalazila iznad istoka kontinenta.

Osobito je izražen utjecaj grebena bio u prvih osam mjeseci 2022., a samo je u travnju srednje mjesečno strujanje bilo pod utjecajem doline, i to njezine stražnje strane. U takvim je okolnostima više od polovine godine obilježeno većim manjkom oborine, odnosno sušnim uvjetima, uz iznadprosječnu toplinu, izuzev ožujka i travnja koji su uglavnom bili hladniji od prosjeka. Utjecaj grebena na vremenske prilike zabilježen je i u listopadu uz također iznadprosječnu toplinu i manjak oborina.

U gotovo svim spomenutim mjesecima uz prevladavajući utjecaj grebena indeks sjevernoatlantske oscilacije bio je pozitivan (NAO+), dok je negativan utjecaj, uz male vrijednosti, obilježio ljetne mjesece (lipanj i srpanj), što je i bilo očekivano. Naime, utjecaj sjevernoatlantske oscilacije u ljetnim mjesecima uglavnom nije izražen jer na vremenske prilike dominantno utječu lokalni čimbenici.

Suša je ublažena u drugoj polovini godine, posebice u rujnu te zatim u studenom i prosincu, kada je sa zapada i jugozapada do nas često pritjecao vlažan, ali i dalje razmjerno topao zrak te je mjesečna količina oborine u tim mjesecima gotovo posvuda bila veća od klimatološkog srednjaka (poglavlje 1).

Sjevernoatlantska oscilacija u rujnu bila je u izraženoj negativnoj fazi, dok se u studenom i prosincu predznak NAO indeksa mijenjao iz pozitivnog u negativan, što upućuje na promjenljivost vremenskih režima koji su prevladavali iznad našeg dijela kontinenta.

Usljed takvih srednjih mjesečnih strujanja prošla godina bila je zamjetno toplija od prosjeka, a oborine je bilo uglavnom manje od prosjeka, posebice na Jadranu i u područjima uz Jadran (poglavlje 1).

movement of fronts/troughs in the geopotential field from the west across Croatia to the east.

## Conclusion

The thermobaric ridge was the most common mean monthly flow over our part of the continent in 2022. Croatia and the neighbouring regions were under the influence of a trough only in November and April, and partially also in August, although the non-gradient field was dominant. In December, there was a zonal flow over our part of Europe, between the trough in the north and the ridge in the south. The situation was similar in September, when the flow had a western component, but also a northwestern component on the rear side of the trough that was located above the east of the continent.

The influence of the ridge was especially pronounced in the first eight months of 2022. April was the only month when the average monthly flow was influenced by the trough (its rear side). In such circumstances, more than half of the year is characterized by a major lack of precipitation, or dry conditions, with above-average temperatures, except for March and April, which were generally colder than average. The influence of the ridge on the weather was also noticed in October, with an above-average temperature and a lack of precipitation.

Almost all these months were characterized by a positive North Atlantic Oscillation (NAO+) index in addition to the predominant influence of the ridge. It was negative, with small values, in the summer months as well (June and July), which is to be expected. The influence of the North-Atlantic Oscillation is mostly not pronounced in the summer months because the weather conditions are dominantly influenced by local factors.

The drought was alleviated in the second half of the year, especially in September, and then in November and December, when moist and relatively warm air often came in from the west and southwest. For this reason, the monthly precipitation amount in these months was higher than the climatological average almost everywhere (Section 1).

The North Atlantic Oscillation was in a pronounced negative phase in September, while in November and December the NAO index sign changed from positive to negative, which is indicative of the variability of the weather regimes that prevailed over our part of the continent.

As a result of such average monthly flows, last year was noticeably warmer than average, and precipitation was generally below average, especially in the Adriatic and in the areas along the Adriatic (Section 1).



### 3. ANALIZA RANGOVA I TRENDOVA SREDNJIH GODIŠNJIH TEMPERATURA ZRAKA I GODIŠNJIH KOLIČINA OBORINE ZA POSTAJE ZAGREB-MAKSIMIR I SPLIT-MARJAN U 2022. GODINI

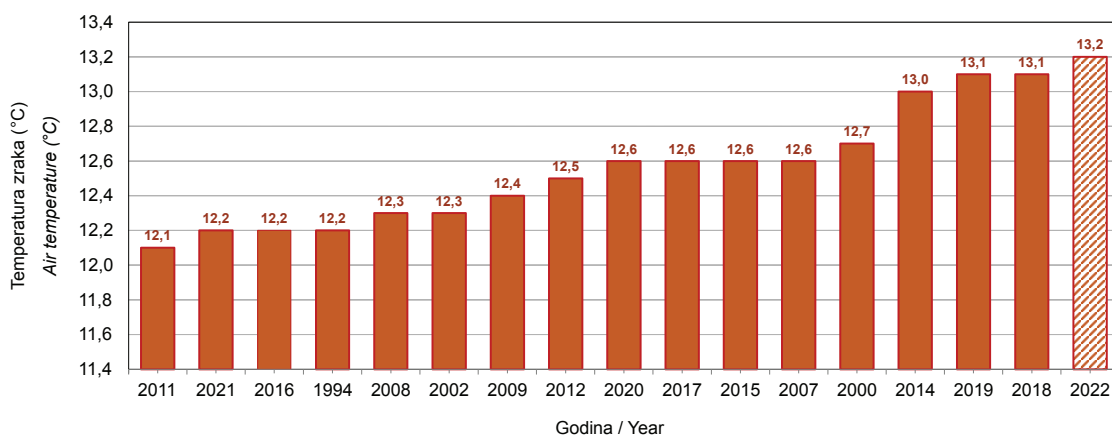
Tanja Likso

Za postaju Zagreb-Maksimir srednja godišnja temperatura zraka za 2022. godinu iznosi 13,2 °C, zbog čega je 2022. bila najtoplija godina otkad postoje meteorološka mjerenja na toj postaji (slika 3.1). Očigledan je daljnji pozitivan trend srednje godišnje temperature zraka (0,2 °C/10 god.) uz odgovarajuće međugodišnje varijacije (slika 3.2). Primjetno je da je nakon sredine 80-ih godina prošlog stoljeća trend srednje godišnje temperature znatno naglašeniji nego u prethodnom razdoblju,

### 3. ANALYSIS OF MEAN ANNUAL AIR TEMPERATURE AND ANNUAL PRECIPITATION AMOUNT RANKS AND TRENDS FOR ZAGREB-MAKSIMIR AND SPLIT-MARJAN STATIONS IN 2022

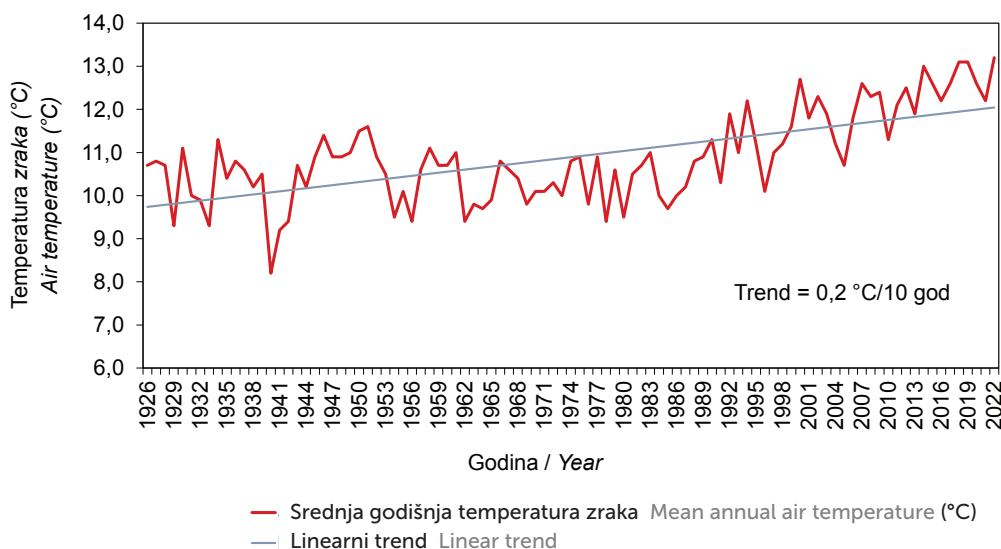
Tanja Likso

A comparison of average annual air temperatures in the period 1926-2022 for the meteorological station Zagreb-Maksimir indicates that 2022 was the warmest year on record. Zagreb-Maksimir had an average annual air temperature of 13.2°C in 2022 (Figure 3.1). A continued positive average annual air temperature trend (0.2°C/10 yrs) is apparent, with corresponding inter-annual variations (Figure 3.2). The secular average annual air temperature trend has become noticeably stronger after the mid-1980s due



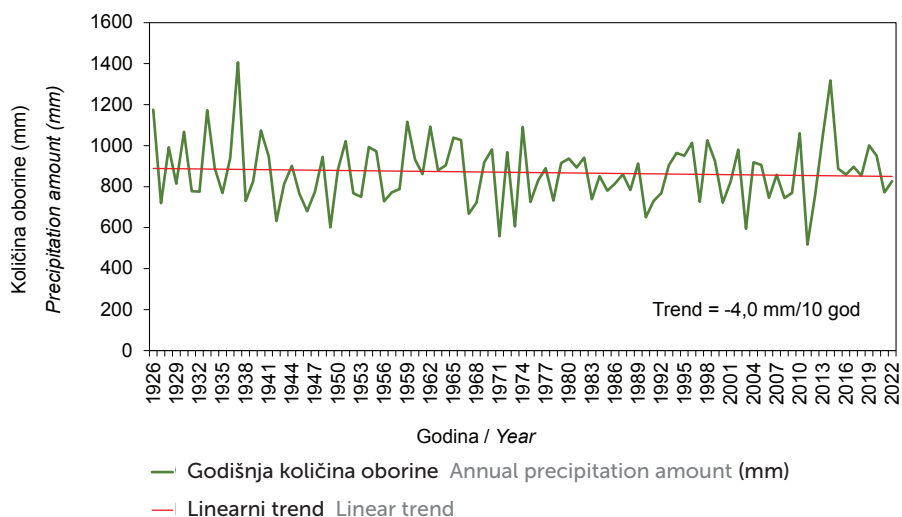
Slika 3.1. Deset skupina najtoplijih godina od početka meteoroloških motrenja (1926. – 2022.) za Zagreb-Maksimir.

Figure 3.1. Ten groups of the warmest years on record (1926-2022) for Zagreb-Maksimir.



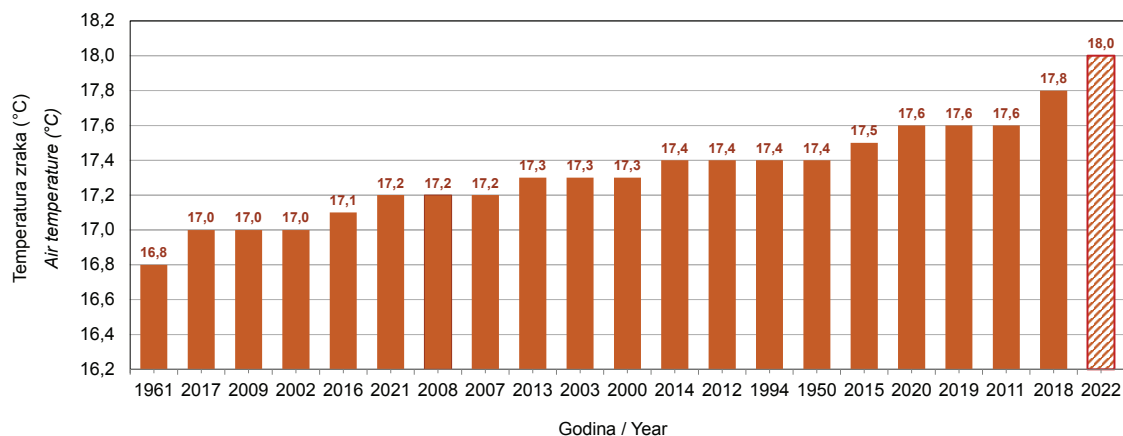
Slika 3.2. Srednje godišnje temperature zraka za Zagreb-Maksimir za razdoblje 1926. – 2022.

Figure 3.2. Mean annual air temperatures at Zagreb-Maksimir in the period 1926-2022.



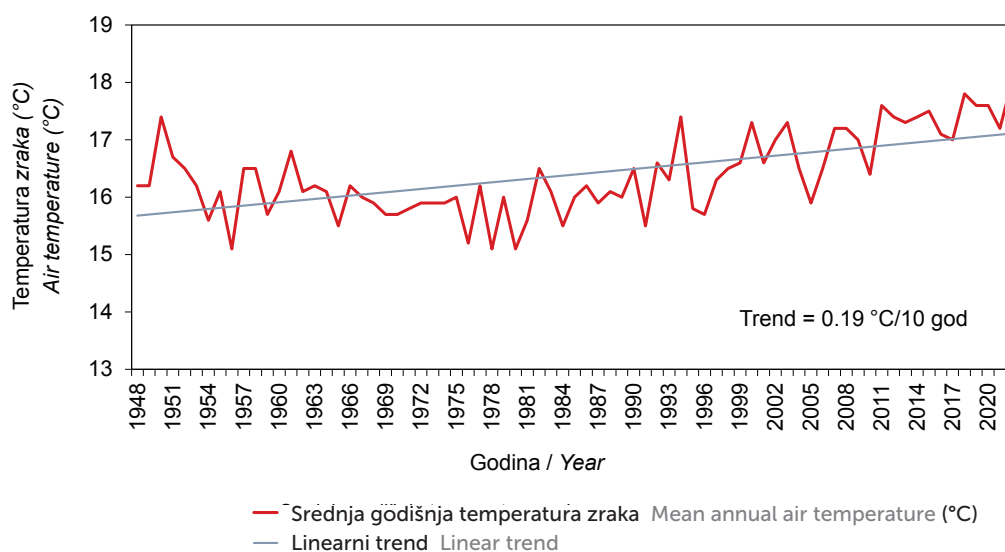
Slika 3.3. Godišnje količine oborine za Zagreb-Maksimir za razdoblje 1926. – 2022.

Figure 3.3. Annual precipitation amounts at Zagreb-Maksimir in the period 1926-2022.



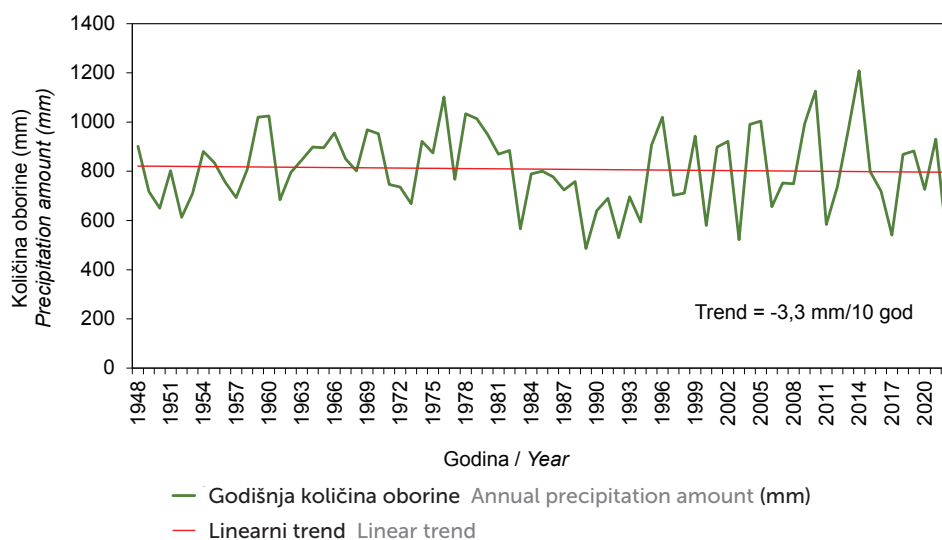
Slika 3.4. Deset skupina najtoplijih godina od početka meteoroloških motrenja (1948. – 2022.) za postaju Split-Marjan.

Figure 3.4. Ten groups of the warmest years on record (1948-2022) at Split-Marjan.



Slika 3.5. Srednje godišnje temperature zraka za Split-Marjan za razdoblje 1948. – 2022.

Figure 3.5. Mean annual air temperatures at Split-Marjan in the period 1948-2022.



Slika 3.6. Godišnje količine oborine za Split-Marjan za razdoblje 1948. – 2022.

Figure 3.6. Annual precipitation amounts at Split-Marjan in the period 1948-2022.

što se pripisuje globalnom zatopljenju, a kao posljedica djelovanja čovjeka. Za razliku od trenda srednjih godišnjih temperatura zraka trend godišnjih količina oborine za Zagreb-Maksimir ( $-4,0$  mm/10 god.) nije signifikantan (slika 3.3). I u ovom su slučaju znatne međugodišnje varijacije.

Za postaju Split-Marjan srednja godišnja temperatura zraka za 2022. iznosi  $18,0$  °C, zbog čega je 2022. bila najtoplija godina (slika 3.4) otkad postoje meteorološka mjerenja na toj postaji. Slično kao za Zagreb-Maksimir izražen je pozitivan trend srednje godišnje temperature zraka ( $0,19$  °C/10 god.) uz odgovarajuće međugodišnje varijacije (slika 3.5). Nakon sredine 80-ih godina prošlog stoljeća trend srednje godišnje temperature zraka naglašeniji je nego u prethodnom razdoblju, što se objašnjava globalnim zatopljenjem, a kao posljedica antropogenog utjecaja. Za razliku od trenda srednjih godišnjih temperatura zraka trend godišnjih količina oborine za postaju Split-Marjan ( $-3,3$  mm/10 god) nije signifikantan (slika 3.6).

to human activity. Unlike the average annual air temperature trend for Zagreb-Maksimir, the annual precipitation amount trend ( $-4.0$  mm/10 yrs) is not significant (Figure 3.3). Certain inter-annual variations exist in precipitation amounts as well.

The average annual air temperature at the station Split-Marjan in 2022 was  $18.0$  °C, which makes 2022 the warmest year on record (Figure 3.4). Like at the Zagreb-Maksimir station, a positive average annual air temperature trend is present here too ( $0.19$  °C/10 yrs), with certain inter-annual variations (Figure 3.5). The average annual air temperature trend is more noticeable after the mid-1980s due to anthropogenic global warming. Unlike the average annual air temperature trend for the Split-Marjan station, the annual precipitation amount trend ( $-3.3$  mm/10 yrs) is not significant (Figure 3.6).



#### 4. ANALIZA DNEVNIH ANOMALIJA TEMPERATURE ZRAKA I KOLIČINE OBORINE ZA POSTAJE ZAGREB-MAKSIMIR I SPLIT-MARJAN U 2022. GODINI

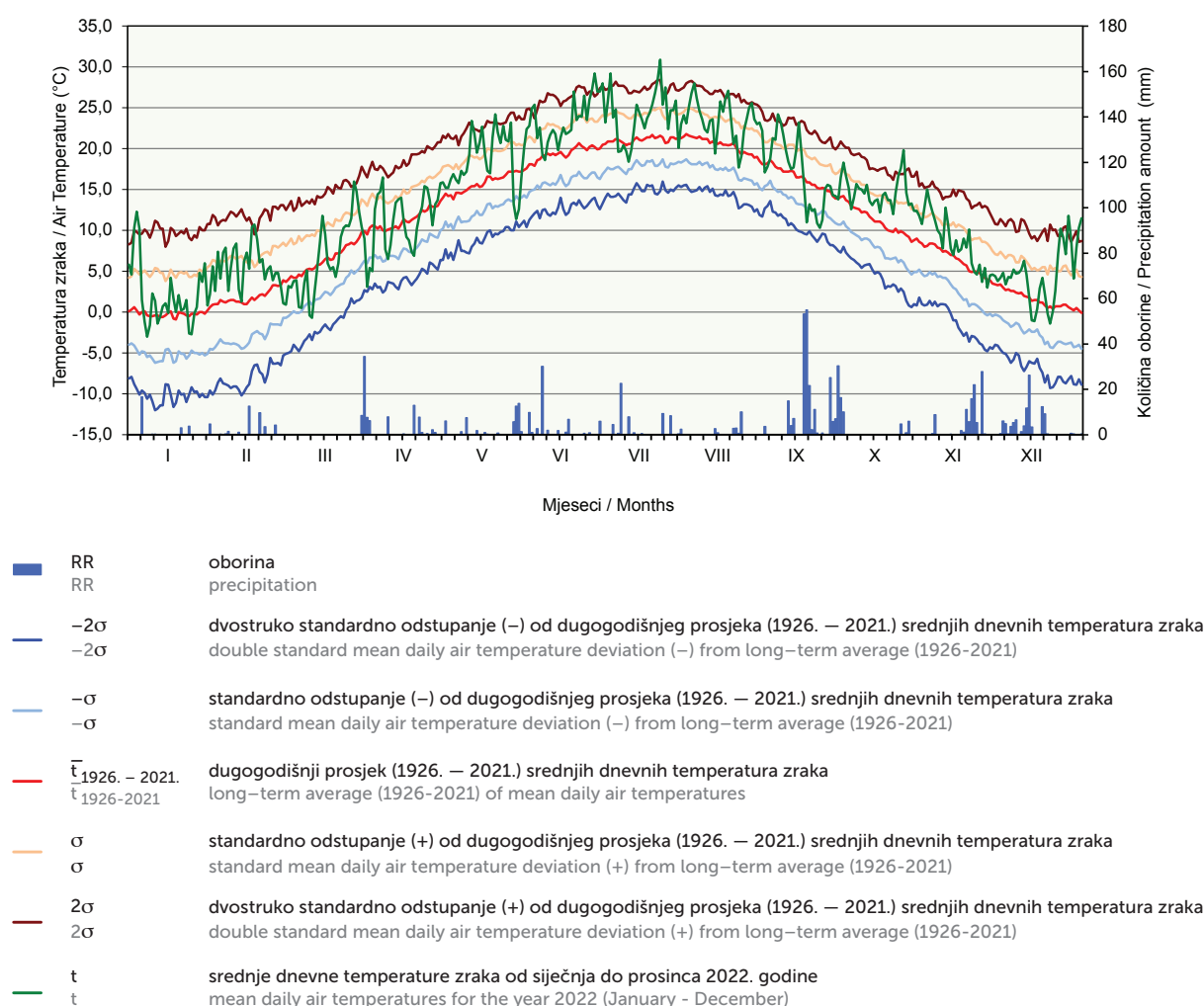
Tanja Likso

Prikazana analiza klimatskih anomalija u poglavlju 1.1 daje opću ocjenu klime u Hrvatskoj za 2022. godinu. Detaljniji uvid od prikazanog može omogućiti analiza vremenskih pojava na vremenskoj ljestvici koja nije unaprijed definirana, nego ovisi o trajanju klimatskog odnosno vremenskog događaja. Na slici 4.1 prikazane su srednje dnevne temperature zraka u 2022. godini (zeleni linija) u odnosu na dugogodišnji prosjek (1926. – 2021.)

#### 4. ANALYSIS OF MEAN DAILY AIR TEMPERATURE ANOMALIES AND PRECIPITATION AMOUNTS FOR ZAGREB-MAKSIMIR AND SPLIT-MARJAN STATIONS IN 2022

Tanja Likso

The analysis of climate anomalies presented in Section 1.1 provides a general assessment of the climate in Croatia for 2022. An analysis of weather events on a scale that is not pre-defined but depends on the duration of climate or weather events in question can provide more detailed insight. Figure 4.1 shows the mean daily air temperatures in 2022 (green line) in comparison to the long-term average (1926-2021) (red line) and



Slika 4.1. Srednje dnevne temperature zraka za meteorološku postaju Zagreb-Maksimir u odnosu na dugogodišnji prosjek (1926. – 2021.)<sup>3</sup> i dnevne količine oborine za 2022. godinu.

Figure 4.1. Mean daily air temperatures for Zagreb-Maksimir station relative to the long-term average (1926-2021)<sup>3</sup> and daily precipitation amounts for the year 2022.

<sup>3</sup> Meteorološki podaci za razdoblje 1926. – 1960. nisu prošli postupak kontrole kvalitete prema današnjim standardima.

<sup>3</sup> Meteorological data for the period 1926-1960 did not pass the quality control procedure according to present standards.

(crvena linija) i dnevne količine oborine za 2022. godinu (plavi stupići) na postaji Zagreb-Maksimir. Prevladavala su pozitivna odstupanja srednje dnevne temperature zraka u odnosu na navedeni dugogodišnji prosjek<sup>4</sup>. Na slici 4.2 prikazane su srednje dnevne temperature zraka za meteorološku postaju Split-Marjan u usporedbi s dugogodišnjim prosjekom (1948. – 2021.) i dnevne količine oborine za 2022. godinu.

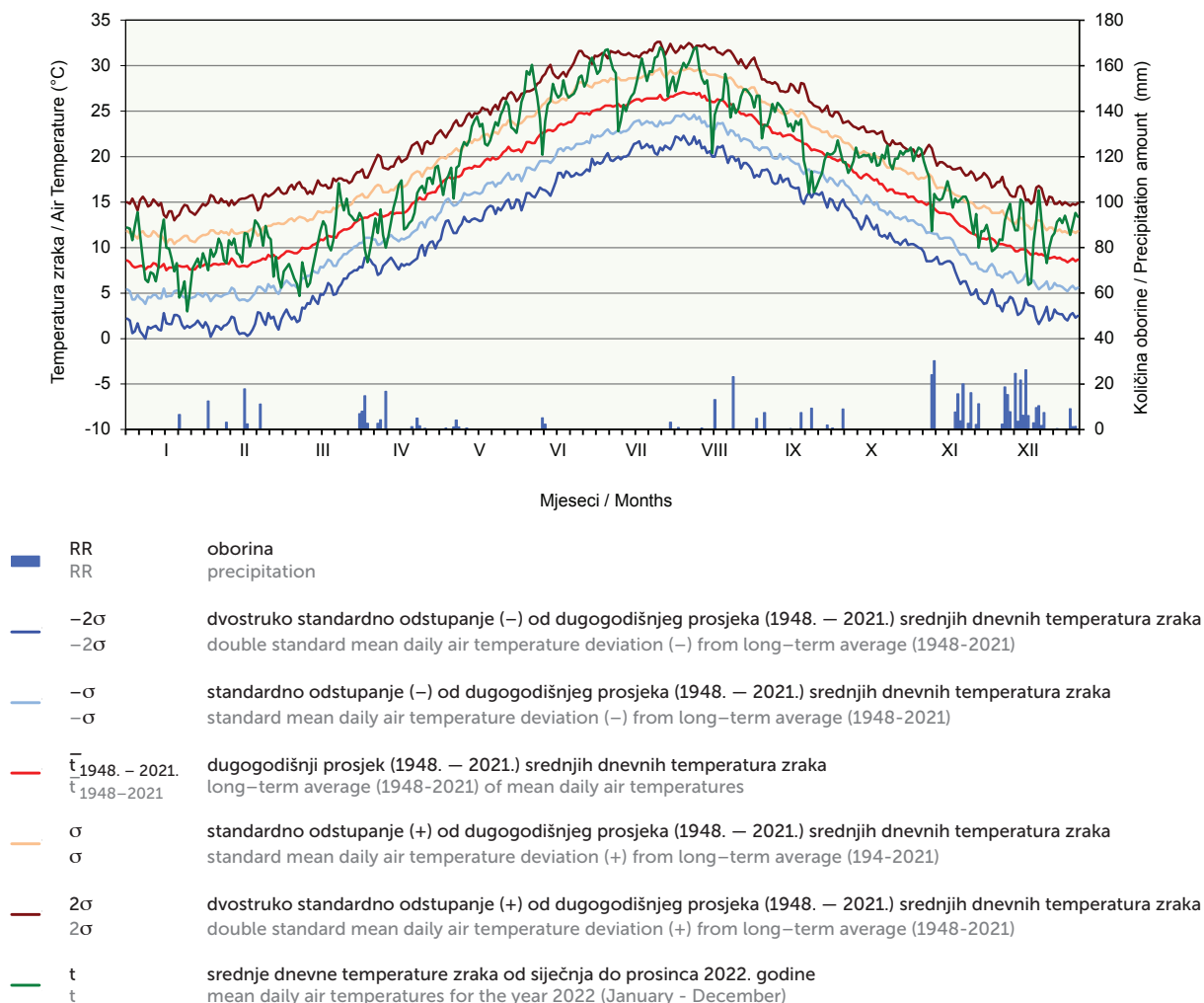
Prema Chapmanovu kriteriju izvanredno toplim smatra se dan u kojem pozitivna anomalija srednje dnevne temperature zraka premaši dvije standardne devijacije, dok je izvanredno hladan dan onaj u kojem negativna anomalija premaši dvije standardne devijacije. Na

daily precipitation amounts for 2022 (blue bars) at the Zagreb-Maksimir station. Positive anomalies from the above long-term average were prevalent in 2022<sup>4</sup>.

Chapman's criterion defines an extraordinary warm day as a day with a positive average daily air temperature anomaly exceeding two standard deviations, and an extraordinary cold day as a day with a negative anomaly exceeding two standard deviations. Figure 4.1 shows extraordinary warm and cold days registered in 2022 at the Zagreb-Maksimir station. A visual assessment results in the conclusion that positive mean annual air temperature anomalies relative to the long-term average were prevalent in 2022, resulting in positive annu-

<sup>4</sup> Za razliku od prethodnih godina u Prikazima 32, 33 i 34 nisu analizirani dnevni podaci temperature zraka i dnevne količine oborine za glavnu meteorološku postaju Zagreb-Grič zbog prekida u radu nakon jakog potresa koji je pogodio Zagreb i šire zagrebačko područje 22. ožujka 2020. godine. U Prikazima 34 analiziraju se podaci s postaje Zagreb-Maksimir umjesto Zagreb-Griča.

<sup>4</sup> Unlike the earlier editions, Reviews 32, 33 and 34 do not analyse daily air temperature and daily precipitation amount data for the main meteorological station Zagreb-Grič due to the interruption in its operation after the strong earthquake that hit Zagreb and the wider Zagreb area on 22 March 2020. Reviews 34 analyse data from the Zagreb-Maksimir station instead of the Zagreb-Grič station.



Slika 4.2. Srednje dnevne temperature zraka za meteorološku postaju Split-Marjan u odnosu na dugogodišnji prosjek (1948. – 2021.) i dnevne količine oborine za 2022. godinu.

Figure 4.2. Mean daily air temperatures at the Split-Marjan station relative to the multiannual average (1948-2021) and daily precipitation amounts for 2022.

slici 4.1 vidljivi su izvanredni dani tijekom 2022. godine za postaju Zagreb-Maksimir. Vizualnom ocjenom može se zaključiti da su prevladavala razdoblja s pozitivnim anomalijama srednje dnevne temperature zraka u odnosu na dugogodišnji prosjek, što je rezultiralo pozitivnim godišnjim anomalijama prikazanim u poglavlju 1. Tijekom 2022. godine na postaji Zagreb-Maksimir nije bilo izvanredno hladnih dana. Na slici 4.1 također su prikazane dnevne količine oborine za Zagreb-Maksimir u 2022. godini. Kao što je vidljivo iz poglavlja 1, zbroj dnevnih količina oborine za 2022. bio je blizak višegodišnjem prosjeku. Znatniji manjak oborine zabilježen je tijekom ožujka, lipnja, kolovoza i listopada, dok je rujna bio izrazito kišovito.

Slika 4.2 prikazuje izvanredne dane tijekom 2022. godine za postaju Split-Marjan. Vizualnom ocjenom može se zaključiti da su prevladavale pozitivne anomalije srednje dnevne temperature zraka u odnosu na dugogodišnji prosjek (1948. – 2021.). Tijekom 2022. na postaji Split-Marjan zabilježena su samo dva izvanredno hladna dana – početkom travnja i u drugoj polovini rujna. Ukupna godišnja količina oborine bila je manja od prosjeka (poglavlje 1) sa značajnim manjkom oborine tijekom siječnja, ožujka, svibnja i listopada.

al air temperature anomalies shown in Section 1. There were no extraordinary cold days at the Zagreb-Maksimir station in 2022. Figure 4.1 also shows daily precipitation amounts for Zagreb-Maksimir in 2022. As discussed in Section 1, the sum of daily precipitation amounts for 2022 was close to the multiannual average. A more notable lack of precipitation was recorded in March, June, August and October, while September was markedly wet.

Figure 4.2 shows days with extraordinary values of mean daily air temperature at the Split-Marjan station in 2022. A visual assessment also reveals that positive mean daily air temperature anomalies were prevalent relative to the long-term average (1948-2021). Only two extraordinary cold days were registered at the Split-Marjan station in 2022: one at the beginning of April, and the other in the second half of September. Figure 4.2 also shows daily precipitation amounts for Split-Marjan in 2022. The total annual precipitation amount was below the average (Section 1), with a more significant precipitation deficit in January, March, May and October.

## 5. IZVANREDNI METEOROLOŠKI DOGAĐAJI U HRVATSKOJ U 2022. GODINI

### 5.1 Sažetak izvanrednih događaja

Lovro Kalin

Vremenske prilike u 2022. opisane podacima izmjenjenim na meteorološkim postajama utječu na život i svakodnevne aktivnosti, što prenose i medijska izvješća. Već prvog dana 2022. zabilježeni su nestvarni prizori magle na Jadranu. Sjeverni Jadran bio je obavljen maglom već na Silvestrovo, a prizori „morske magle“ nastavljaju se i u prvim danima nove godine.

Početkom siječnja nastupile su vrlo neobične vremenske prilike te iznimna toplina: temperature premašuju petnaestak, ponegdje dosežu i 20 °C, u Kninu su čak 22 °C, na Zavižanu 13 °C. Mnoge postaje, ponajprije priobalne, bilježe povijesne rekorde za siječanj. Toplina je izmamila na obalu i mnoge kupaoče!

No već u nastavku mjeseca povremene su snježne epizode mjestimice praćene jakim vjetrom. Snijega ima nekoliko desetaka centimetara, na snazi su brojna ograničenja. Na Krčkom mostu izmjeren je udar bure od 180 km/h. Nastupio je i hladni val. Najhladnije u dalmatinskim mjestima bilo je u Sinju s -11 °C, dok je minimalna temperatura zraka na 5 cm iznad tla bila još niža i iznosila je -14 °C. More kraj Šibenika zaledilo se i pretvorilo u ledenu površinu. Led je zahvatio veliku površinu mora na plaži u Zablaću, što je rijedak prizor u Dalmaciji.

Krajem siječnja zabilježeno je onečišćenje atmosfere. Zapadno od Istre bili su vidljivi spektakularni crveni zalasci Sunca koji su ujedno turistička atrakcija. Tijekom zalaska Sunca zrake svjetlosti prolaze kroz deblji sloj atmosfere koji je onečišćen aerosolima (plinovi, prašina, lebdeće čestice i sl.) što uzrokuju pojavu intenzivne crvene boje.

Snijega i jakog vjetera bilo je i u veljači. No ukupno uzevši, klimatološka zima (razdoblje od prosinca 2021. do veljače 2022.) bila je razmjerno blaga, odnosno topla u skladu sa sezonskim prognozama, a količinom oborine uglavnom prosječna.

Sredinom ožujka ciklona Celia utječe na vrijeme u zapadnoj Europi te je uslijed izraženog južnog strujanja povukla velike količine saharškog pijeska. Fascinantne fotografije obojenog snijega u planinama kao i zamučene atmosfere preplavile su društvene mreže.

U proljeće su česta olujna nevremena, a tako je bilo i u 2022. U travnju je snažno nevrijeme zahvatilo sjevernu Hrvatsku te je u nekim predjelima, osobito u Hrvatskom zagorju, padala tuča, no pravi problemi uslijedili su u svibnju i lipnju.

Izraženo nevrijeme praćeno jakim i olujnim vjetrom, kišom i snažnom tučom 25. svibnja u poslijepodnevnom i večernjim satima zahvatilo je veći dio sjeverozapadne, potom i istočne Hrvatske te prouzročilo znatnu štetu na objektima i vozilima, a posebice na plastenicima, staklenicima i poljoprivrednim kulturama te drugoj imovini. Na stradalom području u općini Veliki Bukovec padala je tuča čak i veličine teniske loptice. Na području

## 5. EXTRAORDINARY METEOROLOGICAL EVENTS IN CROATIA IN 2022

### 5.1 Summary of extraordinary events

Lovro Kalin

The weather in 2022, described by the data measured at weather stations, has affected everyday life and activities, as evident from the media coverage. Unreal scenes of fog in the Adriatic were captured on film on the very first day of the year. In fact, northern Adriatic was shrouded in fog on St. Sylvester's Day, and scenes of "sea fog" continued in the first days of the new year.

They were followed by reports of very unusual weather and exceptionally high temperatures in early January, with temperature above 15 °C or even as high as 20 °C in some places, reaching 22 °C in Knin, for example, and 13 °C in Zavižan. Many stations, mainly at the coast, measured the highest temperatures on record for January. The unusually warm weather even drew many swimmers to the coast!

This bout of unusually warm weather, however, was followed by occasional snow episodes in the second half of the month, accompanied by strong winds in places. The snow cover measured tens of centimetres in depth, resulting in the introduction of a number of restrictions. A wind gust of 180 km/h was measured at the Krk Bridge. The country was hit by a cold wave as well. Sinj measured the lowest temperature of -11 °C, with an even lower minimum air temperature at 5 cm above the ground of -14 °C. The sea near Šibenik froze and turned into an ice surface. The ice covered a large area of the sea on the beach in Zablaće, a rare sight in Dalmatia.

Atmospheric pollution was reported at the end of January, with spectacular red sunsets west of Istria turning into a tourist attraction. This phenomenon occurs because light rays pass through a thicker layer of the atmosphere at sunset, which is polluted with aerosols (gases, dust, floating particles, etc.), so they manifest as an intense red colour.

There were cases of snow and strong wind in February as well, but the climatological winter (the period from December 2021 to February 2022) was mild in general (relatively warm) - consistent with seasonal forecasts - with mostly average precipitation amounts.

In mid-March, the weather in western Europe was affected by Cyclone Celia, which brought large amounts of Saharan sand due to notable southerly flow. Fascinating photos of coloured snow in the mountains as well as hazy atmosphere flooded social networks.

Storms are frequent in the spring, and 2022 was no exception in this respect. A strong storm hit northern Croatia in April. Some areas, especially in the Hrvatsko Zagorje region, were struck by hail, but the real problems followed in May and June.

A severe storm, accompanied by strong and gale-force wind, rain and heavy hail, hit most of northwestern and then eastern Croatia in the afternoon and evening of 25 May, causing considerable damage to buildings and vehicles, especially greenhouses, crops and other property. Hailstones the size of a tennis ball were reported in the

općine smješteno je približno 50 % hrvatske proizvodnje cvijeća. Ukupna šteta procjenjuje se na 100 milijuna kuna.

Izraženo grmljavinsko nevrijeme s jakim vjetrom i obilnom oborinom oko ponoći 27. svibnja zahvatilo je sjeverozapadni dio Hrvatske (dio Međimurske, Varaždinske, Bjelovarsko-bilogorske i Koprivničko-križevačke županije), a potom i istočni dio Hrvatske. Vjetar je rušio stabla i javnu rasvjetu, potopljani su i neki podvožnjaci.

Nevrijeme praćeno tučom ponovno je, 2. lipnja, zahvatilo područja Oroslavja i Klanjca te općina Kumrovec i Zagorska Sela i prouzročilo veliku štetu na usjevima i vinogradima. Padala je tuča veličine lješnjaka do oraha, sloj tuče u nekim mjestima bio je i do 10 centimetara, a u pojedinim mjestima bilo je nanosa i do 70 centimetara. Putovi su bili prekriveni tučom, a neka su vozila ostala zaglavljena. U nastavku mjeseca nevremena je bilo i u ostalim mjestima, uglavnom u kontinentalnoj Hrvatskoj.

Prvi toplinski val razvio se 27. – 30. lipnja. Knin je bio najtopliji grad u Hrvatskoj i treći u Europi s izmjerenih čak 40,4 °C. Prvi put u povijesti mjerenja temperatura zraka u lipnju u Hrvatskoj premašila je 40 stupnjeva. Vruće je bilo i u ostalim gradovima. Temperatura mora bila je viša od 25 stupnjeva. Stručnjaci su upozoravali na zabrinjavajući trend zagrijavanja Jadrana i njegove posljedice. Porast temperature morske vode dovodi do pojave novih vrsta u Jadranskom moru, a zbog poremećaja životnog ciklusa planktona naše bi more općenito moglo postati siromašnije ribom.

Povećana koncentracija prizemnog ozona izmjerena je u Zagrebu 1. – 3. srpnja. Izdane su preporuke za osjetljive skupine sugrađana da ne izlaze na otvoreno. Simptomi izloženosti prizemnom ozonu su kašalj, iritacija grla, bol pri dubokom udisaju, bol u prsima te glavobolja i mučnina. Preporuke se posebno odnose na djecu, trudnice, kronične respiratorne bolesnike i starije osobe.

Posljednja ljeta obilježili su brojni toplinski valovi, a bilo ih je i tijekom 2022. U trećem valu srušeno je nekoliko temperaturnih rekorda. U Zadru je 6. kolovoza izmjerena temperatura zraka 39,0 °C, a u Rabu 39,5 °C. Dan poslije u Dubrovniku je bilo 38,6 °C. Iz DHMZ-a i Hrvatskog zavoda za javno zdravstvo izdane su preporuke vezane za zaštitu od vrućine i toplinskog udara. Bilo je i grmljavinskih nevremena, a bujične poplave zahvatile su Istru i Dalmaciju (primjerice grad Split).

Ljeto je prema raspodjeli percentila posvuda u Hrvatskoj bilo ekstremno toplo, a u većini predjela sušno, vrlo sušno, pa i ekstremno sušno.

Naime, suša, koja je ove godine počela u ožujku, nastavila se tijekom cijelog proljeća i ljeta te je bila jedna od najgorih u povijesti mjerenja. Opažene su velike štete na poljoprivrednim usjevima, vodostaji rijeka bili su niski pa je zbog smanjenog hidropotencijala bila ugrožena i proizvodnja električne energije. Zbog suše je trpjela vinova loza; urod masline uglavnom je bio manji od očekivanog, ali uz očekivanu visoku kvalitetu maslinova ulja.

Nakon proljetne i ljetne suše jesen je donijela smjenu kišovitih i sušnih perioda. U rujnu su padale prve jače kiše, osobito na kopnu te sjevernom Jadranu, koje su ponegdje bile i ekstremne. Tijekom jakog grmljavinskog nevremena u Pločama je 9. rujna palo čak 190 mm kiše. No to je bio tek početak.

affected area in the municipality of Veliki Bukovec, which is home to approximately 50% of Croatian floriculture production. The total damage was estimated at HRK 100 million.

A severe thunderstorm, with strong winds and heavy precipitation, hit northwestern Croatia around midnight on 27 May, affecting parts of Međimurje, Varaždin, Bjelovar-Bilogora and Koprivnica-Križevci counties. The storm later moved to eastern Croatia. The wind toppled trees and street lamp posts, and a number of underpasses were flooded.

Another hailstorm hit the areas of Oroslavje and Klanjec, as well as the municipalities of Kumrovec and Zagorska Sela on 2 June, causing great damage to crops and vineyards. The hailstones were reported to be the size of hazelnuts and even as large as walnuts. The hail was up to 10 cm deep in places, occasionally creating drifts of up to 70 cm in depth. The roads were covered with hail, causing some vehicles to get stuck. Storms were reported in other places in the rest of May, mainly in continental Croatia.

Croatia was struck by the first heatwave on 27-30 June, when Knin was the hottest city in Croatia and the third hottest in Europe, having measured a temperature as high as 40.4 °C. Air temperature in Croatia in June exceeded 40 °C for the first time on record. Other cities saw high temperatures as well. Sea temperature was above 25 °C. Experts drew attention to the alarming trend of Adriatic Sea warming and its consequences. The increase in seawater temperature leads to the appearance of new species in the Adriatic Sea, and due to disruption of the life cycle of plankton, fish populations in our sea could decline in general.

An increased concentration of ground-level ozone was measured in Zagreb on 1-3 July. Recommendations were issued to sensitive population groups not to go out into the open. Symptoms of exposure to ground-level ozone include cough, throat irritation, pain when breathing deeply, chest pain, headache and nausea. The recommendations apply in particular to children, pregnant women, chronic respiratory patients and the elderly.

Croatia saw many heat waves in previous summers, and 2022 was no exception in this regard. Several temperature records were broken during the third wave. An air temperature of 39.0 °C was measured in Zadar, and 39.5 °C was measured in Rab on 6 August. A day later, 38.6 °C was measured in Dubrovnik. The DHMZ and the Croatian Institute of Public Health issued recommendations on protection against heat and heatstroke. There were also thunderstorms, and Istria and Dalmatia (the city of Split for example) were hit by flash floods.

According to the percentile distribution, the past summer was extremely warm everywhere in Croatia, and dry, very dry, and even extremely dry in most areas.

The drought, which started in March this year, continued throughout the spring and summer, and was one of the most severe on record, causing great crop damage. The water levels of the rivers were also low, threatening electricity generation due to reduced hydro-potential. The vine was damaged by the drought. Olive yield was generally lower than usual, but the expected high quality of olive oil was maintained.

After the spring and summer drought, autumn was marked by alternating rainy and dry periods. September brought the first heavy rains, especially in continental



Izraženo nevjere praćeno olujnim, prema snimkama oćevidaca moguće i orkanskim vjetrom i intenzivnim pljuskom, a lokalno i tućom, zahvatilo je Bjelovarsko-bilogorsku ųupaniju 15. rujna u poslijepodnevnim satima. Najsnaųnije je pogoćeno podrućje od Ćazme pa sve do Grubišnog Polja. U 24 sata palo je 110 mm kiše, no još veću štetu prouzroćio je vjetar u naseljima, a osobito u šumskim predjelima. Prvotno je bila izražena sumnja čak i na pojavu tornada. Detaljna analiza pokazala je ipak nastanak tzv. superćelije u sklopu koje se najvjerojatnije dogodilo tzv. propad (engl. *downburst*), odnosno intenzivna silazna struja u konvektivnom oblaku koja je praćena jakim i olujnim vjetrom te udarima pri tlu.

Bujićna i urbana poplava 28. rujna 2022. paralizirala je dijelove Rijeke i, naųalost, odnijela jedan ljudski ųivot. Kiša je na širem rijećkom podrućju poćela padati kasno poslijepodne, potom je uslijedila serija jakih grmljavinskih pljusкова i sljedeće je jutro na meteorološkoj postaji Rijeka izmjereno 287,5 mm oborine, što je najveća dnevna kolićina oborine na ovoj postaji od uspostave mjerenja 1948. godine. Pritom je u samo jednom satu palo čak 94 mm oborine. I sljedećeg dana zabiljeųeno je dodatnih 81,9 mm tako da ukupna dvodnevna kolićina oborine iznosi nevjerojatnih 369,4 mm. Statistićka analiza pokazala je da se takav dogaćaj na rijećkom podrućju moųe oćekivati jednom u 100 do 150 godina.

Listopad je donio predah i dosta suhog vremena, a u studenome novi problemi na Kvarneru: 18. studenoga obilna kiša prouzroćila je veliku poplavu u Novom Vinodolskom. Ulice su bile pod vodom, promet je bio oteųan, u nekim dijelovima grada i prekinut. Poplavljena je bila i Malinska na otoku Krku.

Kombinacija djelovanja niskog tlaka zraka te jakog i olujnog juga omogućuje pojavu tzv. olujnog uspora, tj. uzdignuća morske razine. Tako je 22. studenoga u 7 sati i 18 minuta na mareografskoj postaji u Bakru zabiljeųen vodostaj koji za 103,4 cm premašuje srednju morsku razinu. To je jedan od najvećih vodostaja zabiljeųenih od 1929. godine, kada je utemeljena postaja u Bakru. Dodatni su ćimbenik plimne oscilacije, koje su u navedeno vrijeme podrųale pojavu visoke vode, kao i dolina planetarnog atmosferskog vala, koji je danima odrųavao vodostaj većim od prosjećnih vrijednosti. Pojavi iznimno visokih vodostaja pridonosi i porast morske razine vezan uz klimatske promjene, a brzina tog porasta u posljednjim desetljećima u Jadranu iznosi oko 3 mm godišnje!

U prosincu, koji je u većini predjela bio kišovit, postavljeno je nadoknaćivanje manjka oborine u odnosu na godišnji prosjek te smanjivanje velikog odstupanja od prosjećnog broja sunćanih sati. Na Jadranu je u nekoliko navrata ponovno bilo lokalno intenzivne kiše, pa i tuće i pijavica. Zbog obilnih oborina sredinom mjeseca vodostaji su visoki i neke rijeke izlile su se iz korita. Godina 2022. završila je slićno kako je i poćela, neobićajenom toplinom, pa je Silvestrovo ponegdje bilo i rekordno toplo, primjerice u Osijeku i Zagrebu.

Croatia and the northern Adriatic, which were sometimes extreme. As much as 190 mm of rain fell during a strong thunderstorm in Ploće on 9 September, but it was just the beginning.

Severe weather accompanied by gale and possibly storm and intense downpour, judging by the footage captured by eyewitnesses, and locally also by hail, hit the Bjelovar-Bilogora County on the afternoon of 15 September. The area extending from Ćazma all the way to Grubišno Polje was hit the hardest. 110 mm of rain fell in 24 hours, but even greater damage was caused by the wind, both in residential areas and especially in forests. Originally, the appearance of a tornado was suspected. However, a detailed analysis showed that a so-called super-cell had developed, and a so-called downburst, which refers to an intense downward current in a convective cloud, accompanied by strong and gale-force winds and gusts at the ground, developed within it.

The flash and urban flood paralyzed parts of Rijeka on 28 September 2022, sadly, taking one human life. It began to rain in the wider Rijeka area late in the afternoon, which was followed by a series of strong thunderstorms. 287.5 mm of precipitation was measured at the Rijeka meteorological station the next morning, the highest daily amount of precipitation measured there since the beginning of measurement in 1948. As much as 94 mm of precipitation fell in just one hour. The following day, an additional 81.9 mm was recorded, bringing the two-day precipitation total to an incredible 369.4 mm. Statistical analysis showed that such an event can be expected in the Rijeka area once in every 100 to 150 years.

October brought a break and plenty of dry weather, but Kvarner faced new problems in November. Heavy rain caused a major flood in Novi Vinodolski on 18 November. The streets were flooded, causing disruptions in traffic, and even stopping it altogether in parts of the city. Malinska on the island of Krk was flooded as well.

The combined effect of low air pressure and strong and gale-force jugo wind results in a so-called storm surge, which refers to sea level rising. A sea level exceeding the mean sea level by 103.4 cm was recorded at the tide station Bakar at 7:18 am on 22 November. It is one of the highest water levels recorded since 1929, when the station in Bakar was founded. Tidal oscillations contributed to this phenomenon, supporting the occurrence of high water at the time in question, as did the trough of the planetary atmospheric wave, which kept the water level higher than the average values for days. Sea level rise related to climate change also contributes to the occurrence of extremely high water levels. Over the past decades, the sea level in the Adriatic has been rising at a rate of about 3 mm per year!

December, which was rainy in most areas, continued to compensate for the lack of precipitation relative to the annual average, and to decrease the large deviation from the average number of sunny hours. Intense rains were reported on several occasions in certain locations in the Adriatic, including hail and waterspouts. Heavy rainfall in mid-December caused river water levels to rise, and some rivers to overflow their banks.

The end of 2022 was very similar to its beginning, characterized by unusually warm weather. Record high temperatures were recorded on St. Sylvester's Day in some places, for example in Osijek and Zagreb.



## 5.2 Meteorološka i hidrološka ocjena suše 2022. godine

Ksenija Cindrić Kalin, Mislav Anić, Krunoslav Mikec, Tatjana Vujnović, Ivana Marinović, Ivan Lončar-Petrinjak, Leonardo Patalen

Dugotrajan manjak oborine tijekom 2022. godine rezultirao je sušom na širem području Hrvatske koja je prouzročila velike gubitke osobito u poljoprivredi. Naime, prinosi pojedinih poljoprivrednih kultura bili su prepolovljeni (DHMZ, 2022.), a zabilježeni su i izrazito niski vodostaji rijeka, manjih jezera i potoka kao i podzemnih voda. Zbog zabrinjavajućih posljedica suše u Istri tijekom ljeta na snazi je bila redukcija korištenja pitke vode (SNIŽ, 2023.), a veći broj hrvatskih županija proglasio je prirodnu nepogodu. Osim nedostatka oborine u ljetnim mjesecima, osobito u lipnju, zabilježene su i ekstremno visoke temperature zraka koje su uz pojačanu evapotranspiraciju dodatno utjecale na intenzitet suše i njezine negativne posljedice.

Prema standardiziranom oborinskom evapotranspiracijskom indeksu (SPEI3) tijekom ljeta 2022. u gotovo cijeloj Hrvatskoj (94 % teritorija) zabilježene su sušne prilike (slika 5.2.1) različitog intenziteta, a najsušnije je bilo na području sjevernog primorja. Od ožujka do kolovoza (SPEI6) također su prevladale sušne prilike u cijeloj Hrvatskoj – na Jadranu vrlo sušne, u dijelu Gorskog kotara ekstremno sušne, a u većini unutrašnjosti bilo je umjereno sušno.

Na slici 5.2.2 prikazani su vremenski nizovi indeksa SPEI na skali od devet mjeseci (SPEI9) u razdoblju 2000. – 2022. na četiri meteorološke postaje u različitim klimatskim područjima Hrvatske. Vidljivo je dugo sušno

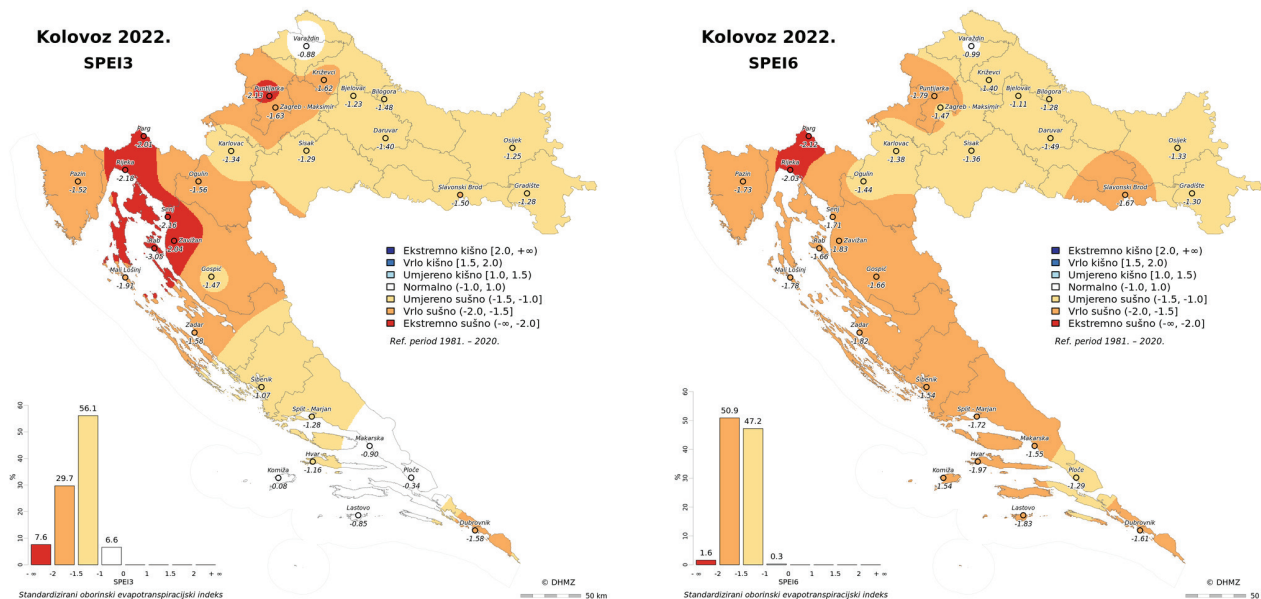
## 5.2 Meteorological and hydrological assessment of drought in 2022

Ksenija Cindrić Kalin, Mislav Anić, Krunoslav Mikec, Tatjana Vujnović, Ivana Marinović, Ivan Lončar-Petrinjak, Leonardo Patalen

Long-lasting lack of precipitation in 2022 caused a drought that resulted in high losses in agriculture, reducing the yields of some crops by 50 % (DHMZ, 2022), and in extremely low water levels in rivers, smaller lakes and streams, as well as groundwater bodies. The alarming effects of the drought drove the local government in Istria to issue a water conservation order to reduce the consumption of potable water in the summer of 2022 (SNIŽ, 2023), and a number of Croatian counties declared a state of natural disaster due to drought. The lack of precipitation in the summer months, particularly in June, was accompanied by extremely high air temperatures, which increased evapotranspiration, further intensifying the drought and its negative effects.

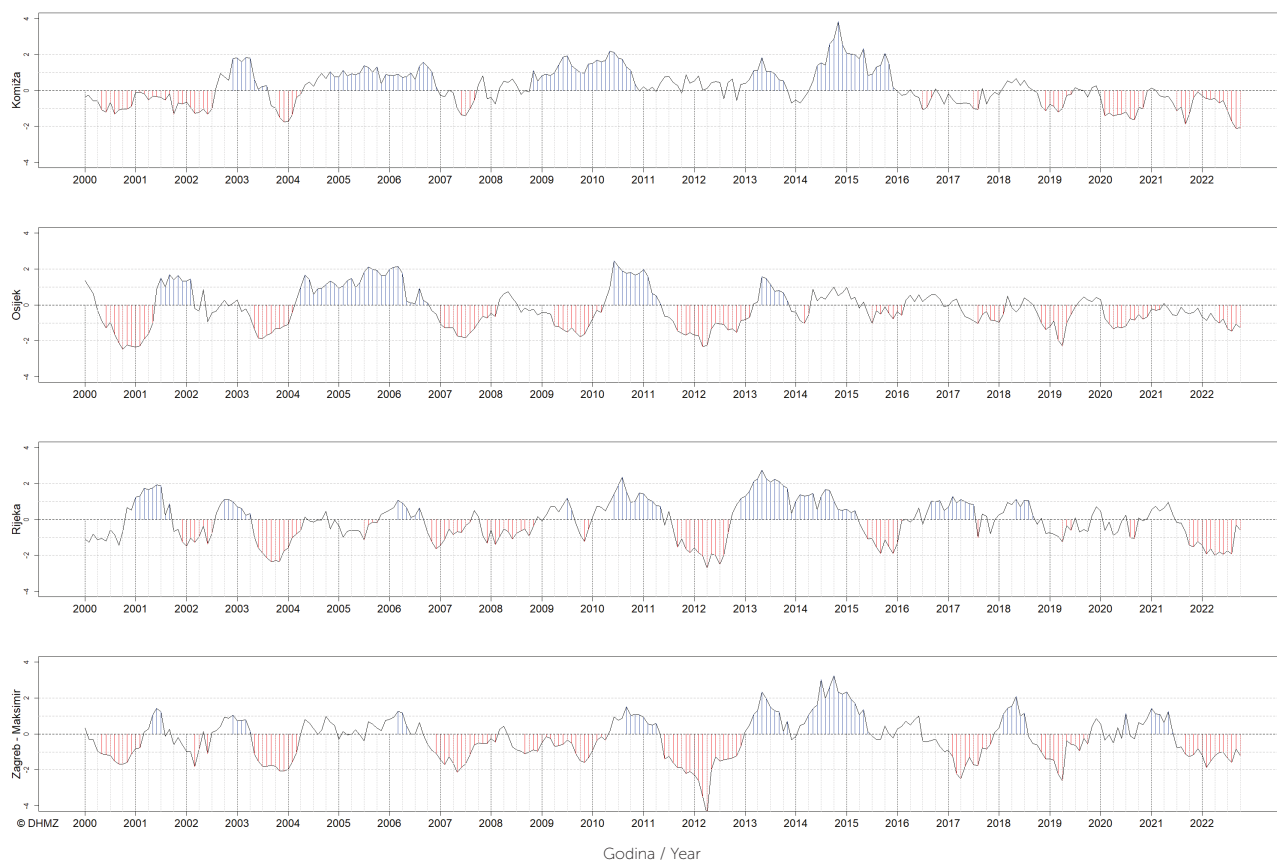
The standardized precipitation-evapotranspiration index (SPEI3) shows that dry conditions were registered in the majority (94 %) of Croatian territory in the summer of 2022 (Figure 5.2.1). Drought intensity varied across the country, the northern Adriatic coast being the driest. Dry conditions were also prevalent across Croatia between March and August (SPEI6), ranging from very dry in the Adriatic and extremely dry in parts of Gorski Kotar to moderately dry in continental Croatia.

Figure 5.2.2 shows the SPEI time series on a 9-month time scale (SPEI9) in the period 2000–2022 at four meteorological stations representing different climate regions in Croatia. Continental and coastal Croatia had a long dry spell that started in November 2021, and lasted until the begin-



Slika 5.2.1. Ocjena sušnosti prema indeksu SPEI za ljeto 2022. (SPEI3, lijevo) i za razdoblje od ožujka do kolovoza 2022. (SPEI6, desno).

Slika 5.2.1. Standardized precipitation-evapotranspiration index for the summer of 2022 (SPEI3, on the left) and for March-August 2022 (SPEI6, on the right).



Slika 5.2.2. Vremenski niz standardiziranog oborinskog evapotranspiracijskog indeksa na vremenskoj skali od devet mjeseci (SPEI9) u razdoblju 2000. – 2022. na četiri postaje DHMZ-a (Komiža, Osijek, Rijeka i Zagreb-Maksimir).

Figure 5.2.2. SPEI time series on a 9-month time scale (SPEI9) in the period 2000–2022 at four DHMZ meteorological stations (Komiža, Osijek, Rijeka and Zagreb-Maksimir).

razdoblje u kontinentalnoj i primorskoj Hrvatskoj koje je započelo u studenom 2021. i trajalo sve do početka rujna 2022. U Dalmaciji je suša 2022. bila dosad najintenzivnija, ali malo kraća od dosadašnje rekordne suše iz 2003.

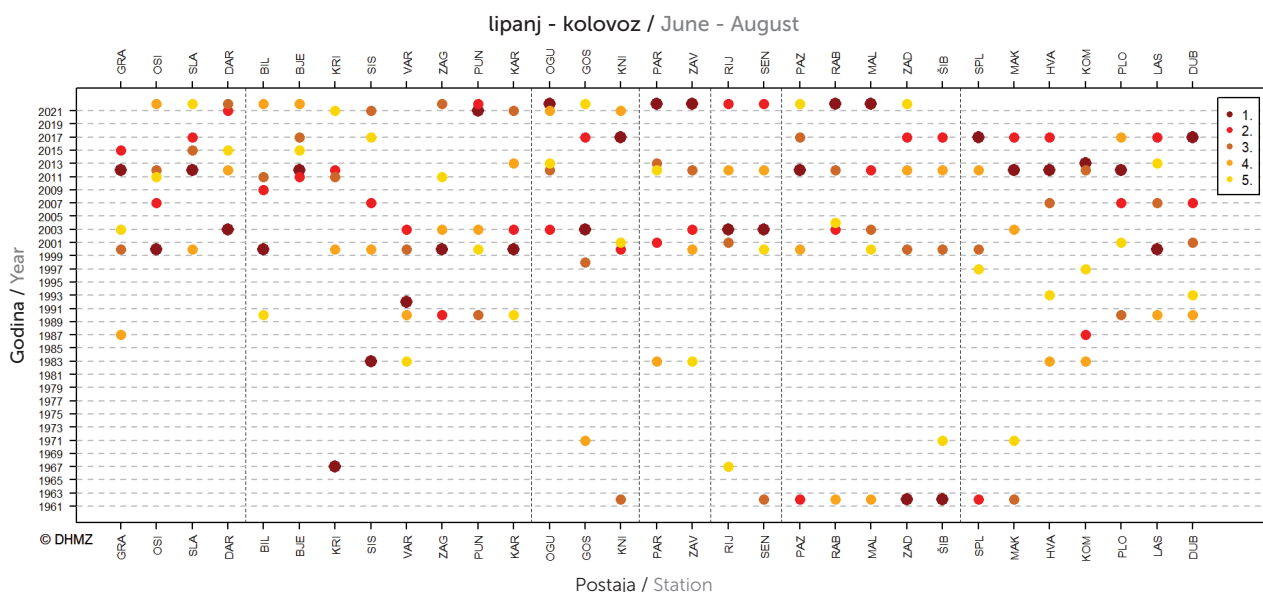
Općenito, prema količini oborine, odnosno standardiziranom oborinskom indeksu (SPI), ljeto 2022. na većini je meteoroloških postaja DHMZ-a bilo u rangu pet najsušnijih ljeta, a u gorju i na otocima sjevernog Hrvatskog primorja najsušnija od 1961. godine (slika 5.2.3). Od početka ovog stoljeća izrazito sušna ljeta u većini Hrvatske bila su 2000., 2003., 2012. i 2017., koja su, kao i ljeto 2022., bila i ekstremno topla. Slika 5.2.4 pokazuje odnos temperaturnih i oborinskih prilika na postajama Mali Lošinj i Zagreb-Maksimir, gdje je ljeto 2022. bilo drugo najtoplije nakon ljeta 2003. Vidljivo je da su od početka ovog stoljeća prevladavala topla i sušna ljeta, a slično je i na ostalim meteorološkim postajama.

Količina oborine zabilježena na svim glavnim meteorološkim postajama u razdoblju od devet mjeseci (1. 12. 2021. – 31. 8. 2022.) bila je od 19 % do 55 % manja od prosječne za to razdoblje. Na dalmatinskim je otocima od druge dekade prosinca 2021. do početka studenog 2022. zabilježeno samo tri do pet dana s oborinom većom od 10 mm. Analiza uzastopnih dana bez oborine ili s dnevnom količinom oborine manjom od određenog

ning of September 2022. In Dalmatia, the 2022 drought was the most intense one so far, but it was somewhat shorter than the drought of 2003, which was previously the most intense one on record.

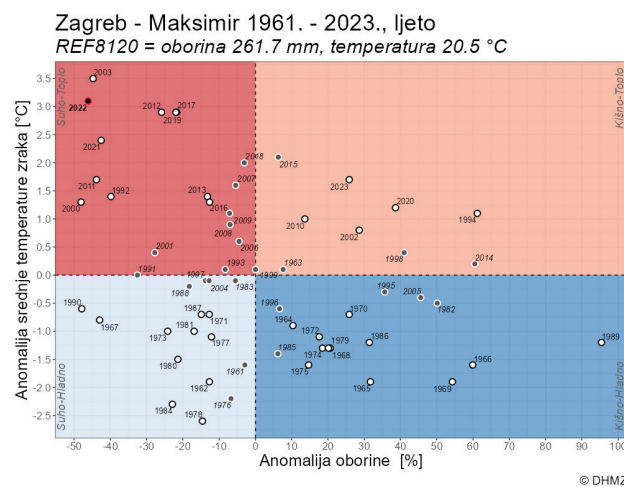
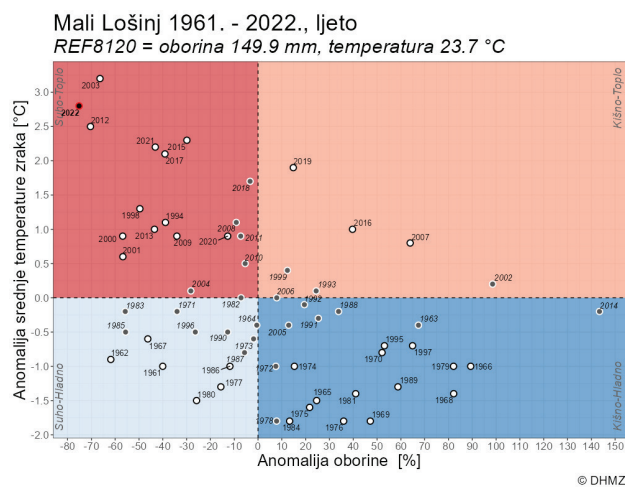
According to the precipitation amount and the standardized precipitation index (SPI), the summer of 2022 generally ranks among the five driest summers at most DHMZ main meteorological stations. In the mountains and on the northern Adriatic islands, it was the driest summer since 1961 (Figure 5.2.3). Since the beginning of the 21<sup>st</sup> century, extremely dry summers were registered in most of Croatia in 2000, 2003, 2012 and 2017, when dry conditions were accompanied by very high temperatures, same as in the summer of 2022. Figure 5.2.4 shows the ratio between air temperature and precipitation conditions at the Mali Lošinj and Zagreb-Maksimir stations, where the summer of 2022 was the second warmest after the summer of 2003. Warm and dry summers have been prevalent since the beginning of this century, with similar results in other stations.

The precipitation amount recorded at all main DHMZ meteorological stations in the nine-month period (1 Dec 2021 – 31 Aug 2022) was 19 % to 55 % lower than the period average. Moreover, Dalmatian islands received precipitation above 10 mm for only three to five days in the period between the second decade of December 2021 and the beginning of November 2022. The analysis of consecu-



Slika 5.2.3. Pet najsušnijih ljeta u razdoblju 1961. – 2022. za 31 postaju DHMZ-a (poredane od istoka prema jugu) prema standardiziranom oborinskom indeksu. Rangirane godine označene su različitim bojama kao na legendi.

Figure 5.2.3. Five driest summers 1961-2022 at 31 DHMZ stations (from the east to the south) according to the SPI. The ranked years are labelled with different colours, as explained in the legend on the right.



Slika 5.2.4. Odstupanje srednje ljetne temperature zraka i količine oborine u odnosu na višegodišnji prosjek na postajama Mali Lošinj (lijevo) i Zagreb-Maksimir (desno). tijekom razdoblja 1961. – 2022. Navedene su i pripadne srednje vrijednosti temperature zraka i količine oborine za referentno razdoblje 1981. – 2020.

Figure 5.2.4. Mean summer air temperature and precipitation amount anomalies relative to the multiannual mean for stations Mali Lošinj (on the left) and Zagreb-Maksimir (on the right) during the period 1961-2022. The corresponding mean values of air temperature and precipitation amount for the reference period 1981-2020 are reported as well.

praga pokazuje da su na većini glavnih meteoroloških postaja DHMZ-a zabilježena duga sušna razdoblja tijekom 2022., od kojih je najdulje sušno razdoblje s količinom oborine manjom od 10 mm (SR10) uzastopno trajalo 141 dan na postaji Komiža. Inače, najdulje sušno razdoblje na toj postaji trajalo je 181 dan (24. 4. 1997. – 21. 10. 1997.). Na 52 analizirane postaje najdulje sušno razdoblje tijekom 2022. zabilježeno je na postaji Ilok i trajalo je uzastopna 154 dana, što je 12 dana kraće od dosadašnjeg maksimuma iz 1988. (17. 9. 1988. – 1. 3.

tive days without precipitation or with a daily precipitation amount below a certain threshold shows that long dry periods were recorded at most of the DHMZ main meteorological stations in 2022. The longest dry spell with precipitation amounts below 10 mm lasted for 141 consecutive days at the Komiža station, whose longest dry period on record had lasted 181 days (24 Apr – 21 Oct 1997). Among all analysed stations (31 main and 19 climatological stations), the easternmost station of Ilok recorded the longest dry period in 2022, lasting for 154 consecutive days, which is 12

1988.). Ipak, najdulja sušna razdoblja u istoj kategoriji (SR10) od početka mjerenja na pojedinoj postaji zabilježena su na postaji Donji Miholjac (4. 12. 2010. – 19. 6. 2011.) te postaji Hvar (5. 3. 1993. – 14. 9. 1993.) u trajanju od 198, odnosno 194 dana.

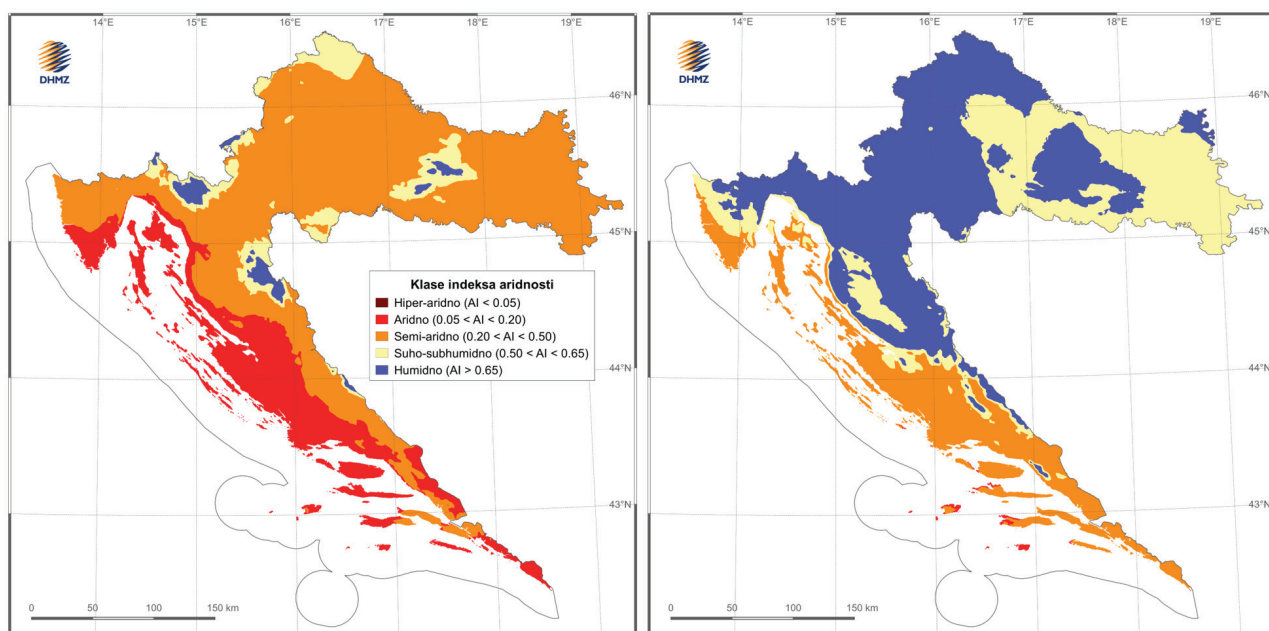
Za ocjenu vlažnosti (humidnosti), tj. sušnosti (aridnosti) mjeseca, sezone ili godine na određenom području može se primijeniti i indeks aridnosti (engl. Aridity Index), koji se računa kao omjer ukupne količine oborine i ukupne potencijalne evapotranspiracije u određenom vremenskom razdoblju (UNEP, 1992, Perčec Tadić i sur., 2014.). Za potrebe izračuna indeksa aridnosti potencijalna evapotranspiracija procijenjena je Penman-Monteith metodom (Allen i sur., 1998). Male vrijednosti indeksa aridnosti u određenom razdoblju upućuju na to da je potreba za vodom, koja se očituje potencijalnom evapotranspiracijom, znatno veća od raspoložive vode, odnosno količine oborine. Tijekom ljeta 2022. vrijednosti indeksa aridnosti bile su znatno manje od višegodišnjeg (1991. – 2020.) prosjeka za ljeta, što je rezultiralo pomakom klasa indeksa aridnosti tijekom ljeta 2022. gotovo u cijeloj zemlji. Prema klasifikaciji indeksa aridnosti obalni dio zemlje u prosjeku tijekom ljeta pripada uglavnom klasi semiaridno, nizinski dio zemlje klasama suho-subhumidno i humidno, a gorski predjeli uglavnom klasi humidno (slika 5.2.5 desno). Tijekom ljeta 2022. u obalnom dijelu zemlje prevladale su aridne prilike, na kontinentu semiaridne, a samo je manji dio zemlje svrstan u klasu suho-subhumidno i humidno (slika 5.2.5 lijevo). Takva raspodjela indeksa aridnosti u Republici Hrvatskoj tijekom ljeta 2022. upućuje na izrazitu sušu.

Vrijednosti indeksa aridnosti za ljeta 2022. na postajama Mali Lošinj i Zagreb-Maksimir najniže su ljetne

days shorter than the 1988 maximum (17 Sep 1988 – 1 Mar 1989). Nevertheless, the longest dry spells on record in the same category (10 mm threshold) were registered at the climatological station Donji Miholjac and at the main meteorological station Hvar in the period 1961-2022, lasting 198 and 194 days, respectively.

The aridity index (AI) can also be used to assess the humidity/aridity of a month, season or year in given location. It is calculated as the ratio of total precipitation and total potential evapotranspiration in a certain period (UNEP 1992, Perčec Tadić et al. 2014). Potential evapotranspiration for the purposes of AI calculation was estimated using the Penman-Monteith method (Allen et al. 1998). Low aridity index values in a certain period indicate that the needs for water, reflected in potential evapotranspiration, significantly exceed available water amounts (precipitation amounts). In the summer of 2022, AI values were significantly lower than the multiannual summer average (1991-2020), resulting in the shift of the AI classes across most of the country. On average, semi-arid class is prevalent in coastal Croatia during the summer months, whereas dry-subhumid and humid classes are prevalent in the lowland regions, and humid class is prevalent in the mountainous region (Figure 5.2.5, on the right). Aridity index values in coastal Croatia were mainly classified as arid in the summer of 2022, values in continental Croatia were mainly classified as semi-arid, and only a small part of Croatia was classified as dry-subhumid and humid (Figure 5.2.5, on the left). Such spatial distribution of the aridity index in the summer of 2022 is indicative of severe drought in large parts of Croatia.

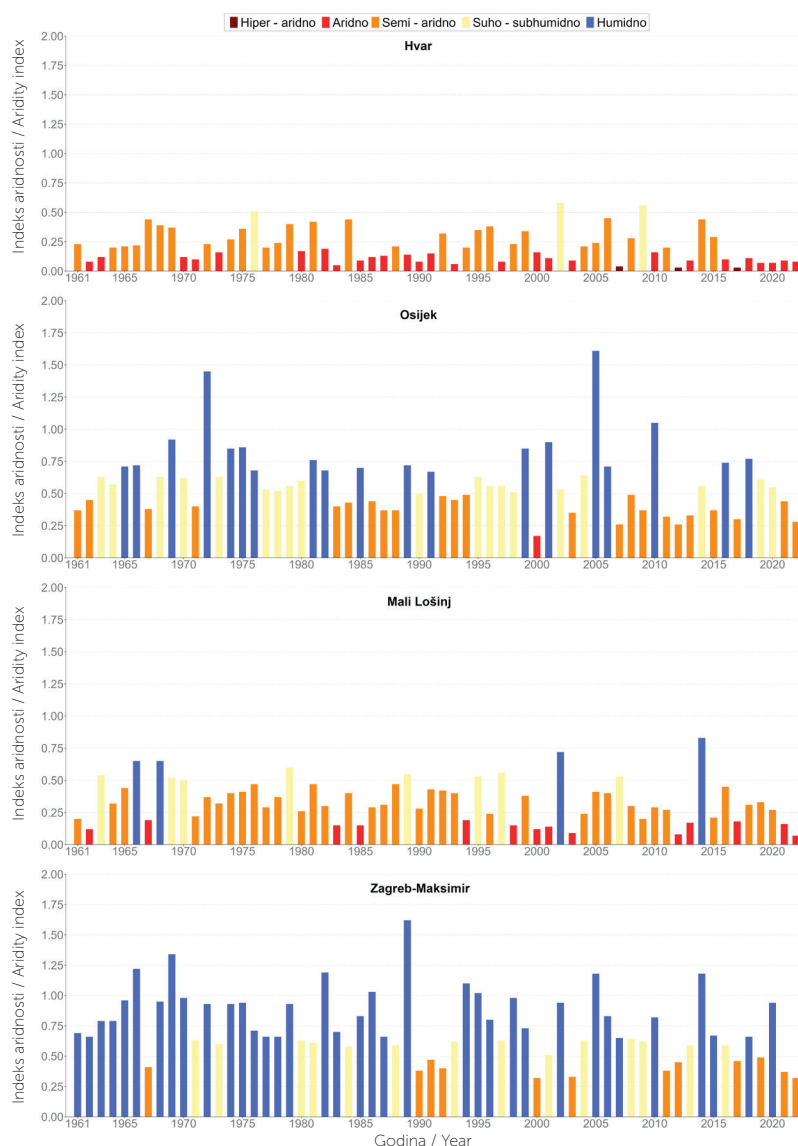
AI values for the summer of 2022 at the DHMZ stations Mali Lošinj and Zagreb-Maksimir were the lowest summer aridity index values registered since 1961, and the



Slika 5.2.5. Prostorna razdioba indeksa aridnosti na području Republike Hrvatske tijekom ljeta 2022. (lijevo) i u klimatološkom razdoblju 1991. – 2020. (desno).

Figure 5.2.5. Spatial distribution of the aridity index in Croatia in the summer of 2022 (on the left) and in the climatological period 1991-2020 (on the right).





Slika 5.2.6. Ljetne vrijednosti indeksa aridnosti na postajama Hvar, Osijek, Mali Lošinj i Zagreb-Maksimir u razdoblju 1961. – 2022.

Figure 5.2.6. Aridity index in the summer at the stations Hvar, Osijek, Mali Lošinj and Zagreb-Maksimir in the period 1961-2022.

vrijednosti indeksa aridnosti od 1961., a na postajama Hvar i Osijek među najnižima su od 1961. godine (slika 5.2.6).

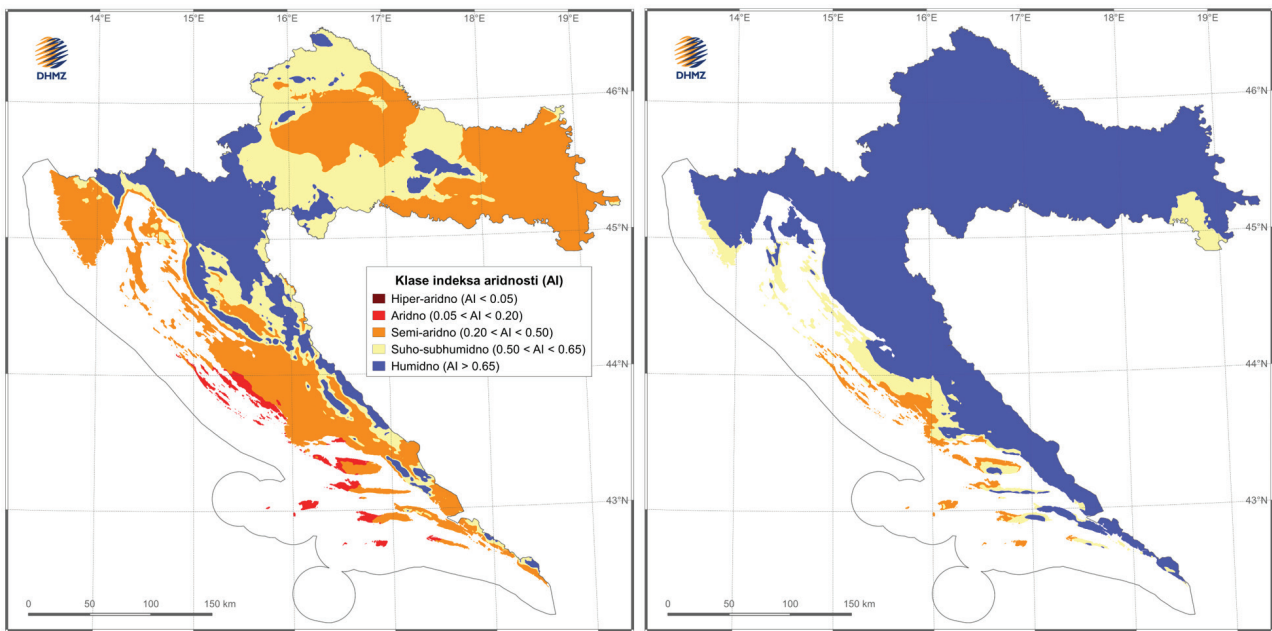
U šestomjesečnom razdoblju ožujak – kolovoz 2022. vrijednosti indeksa aridnosti također su bile znatno niže od višegodišnjeg prosjeka (1991. – 2020.) za navedeno razdoblje, što upućuje na izrazit nedostatak vode. U nizinskom dijelu kontinenta te dijelu sjevernog i južnog Jadrana, Like i kontinentalnog zaleđa Dalmacije vrijednosti indeksa aridnosti pomaknute su za dvije klase u odnosu na višegodišnji prosjek (slika 5.2.7).

Gubitak vode iz tla isparavanjem tijekom ljeta te u razdoblju ožujak – kolovoz 2022. bio je pojačan i zbog iznadprosječno visokih temperatura tla. Toplinske prilike u tlu su prema raspodjeli percentila tijekom ljeta 2022. uglavnom bile u kategoriji vrlo toplo (slika 5.2.8 lijevo). Najveće anomalije temperature tla na 10 cm dubine zabilježene su u Županji (3,5 °C), a najniže u Čepiću (0,7 °C). Tijekom razdoblja ožujak – kolovoz 2022. uglav-

values at the stations Hvar and Osijek were among the lowest since 1961 (Figure 5.2.6).

Average aridity index values for the period March-August 2022 were also significantly lower than the multiannual average (1991-2020), indicating an intense water deficit. In lowland continental Croatia and parts of northern and southern Adriatic, Lika and the continental hinterland of Dalmatia, aridity index values moved by two classes in comparison to the multiannual average (Figure 5.2.7).

Extremely high soil temperatures also contributed to intensified loss of water from the soil during the summer and in the period March-August 2022 due to evaporation. According to the percentile distribution, thermal conditions in the soil in the summer of 2022 are mostly classified as very warm (Figure 5.2.8, on the left). The highest soil temperature anomalies at the depth of 10 cm were recorded at the Županja station (3.5 °C), and the lowest were recorded at the Čepić station (0.7 °C). Thermal conditions in the soil in the period March-August 2022 were mostly classified as



Slika 5.2.7. Prostorna razdioba indeksa aridnosti na području Republike Hrvatske u razdoblju ožujak – kolovoz za 2022. godinu (lijevo) i klimatološko razdoblje 1991. – 2020. (desno).

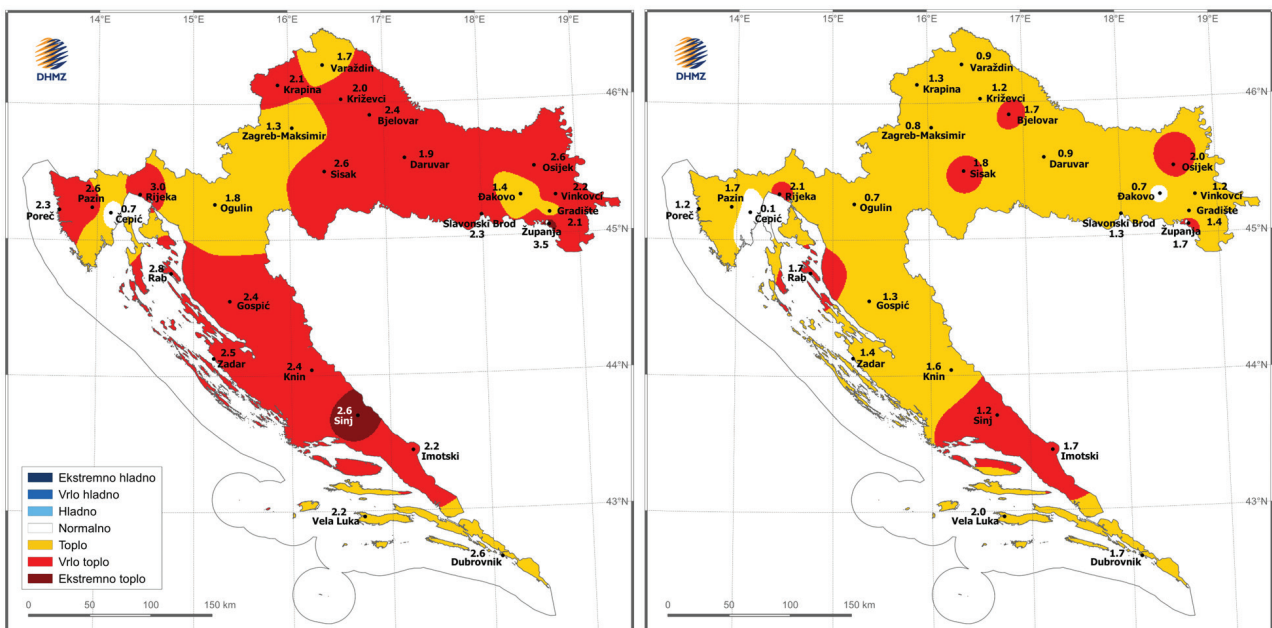
Figure 5.2.7. Spatial distribution of the aridity index in Croatia for the period March-August 2022 (on the left) and the climatological period 1991-2020 (on the right).

nom su prevladavale tople prilike (slika 5.2.8 desno), a najveće anomalije temperature tla na 10 cm dubine zabilježene su u Rijeci (2.1 °C).

warm (Figure 5.2.8, on the right), and the highest soil temperature anomalies at the depth of 10 cm were recorded at the Rijeka station (2.1 °C).

Sinoptička analiza suše 2022. obuhvaća analizu baričkih sustava u najnižem sloju atmosfere, pri tlu, te

The synoptic analysis of the 2022 drought includes the analysis of pressure systems both in the lowest layer of



Slika 5.2.8. Odstupanje srednje sezonske temperature tla na 10 cm dubine od višegodišnjeg prosjeka (1991. – 2020.) za ljeto (lipanj – kolovoz) 2022. (lijevo) te za razdoblje ožujak – kolovoz 2022. (desno).

Figure 5.2.8. Anomalies of the average seasonal soil temperature at the depth of 10 cm from the multiannual average (1991-2020) for the summer (June-August) of 2022 (on the left) and in the period March-August 2022 (on the right).



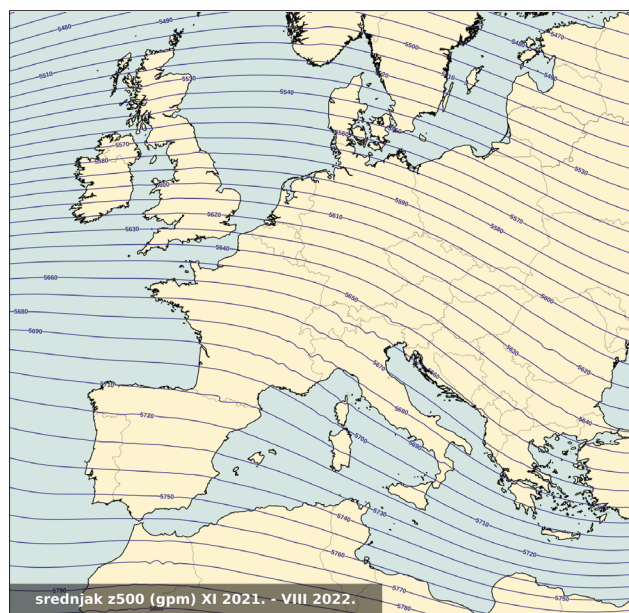
onih u višim slojevima atmosfere. Naime, srednje stanje atmosfere u višim slojevima (npr. na oko 5,5 km visine – AT 500 hPa) pokazatelj je srednjeg strujanja nad određenim područjem, odnosno nad Europom, pri čemu su primijenjeni podaci ERA5 numeričke reanalize Europskog centra za srednjoročne vremenske prognoze (<https://ecmwf.int>, <https://copernicus.eu>).

Prema srednjem stanju na izobarnoj plohi AT 500 hPa od studenog 2021. do kolovoza 2022. iznad Europe je bio dominantan greben visokog tlaka, a naši krajevi bili su na njegovoj prednjoj strani (slika 5.2.9). U takvim okolnostima u većini dana pritjecao nam je i iznad nas se zadržavao razmjerno suh zrak.

To potvrđuje i analiza visinskih vremenskih režima za isto razdoblje. Naime, tijekom više od polovine svih dana u promatranom razdoblju prevladavali su režimi povezani uz djelovanje grebena (oznake G, GNW, GSW) po visini (slika 5.2.10), što za posljedicu uglavnom ima stabilne vremenske uvjete. Tijekom lipnja i srpnja više od 80 % dana bilo je pod nekim režimom vezanim uz greben. Visinski režimi koji donose oborinu uglavnom su povezani s premještanjem doline (DOL i SWS) ili djelovanjem visinske ciklone (VISC) i njihova je učestalost bila zamjetno manja od režima vezanih uz utjecaj grebena. Pritom su relativno česte bile situacije u kojima je dolina djelovala na vrijeme u unutrašnjosti, katkad i na sjevernom Jadranu, dok je na srednjem i južnom Jadranu njezin utjecaj bio neznatan ili je izostao.

Slika 5.2.10 Učestalost visinskih vremenskih režima iznad Hrvatske u razdoblju 1. 12. 2021. – 31. 8. 2022.

Barički sustavi u prizemnom sloju atmosfere pokazuju da su od prosinca 2021. do kolovoza 2022. uvjerljivo



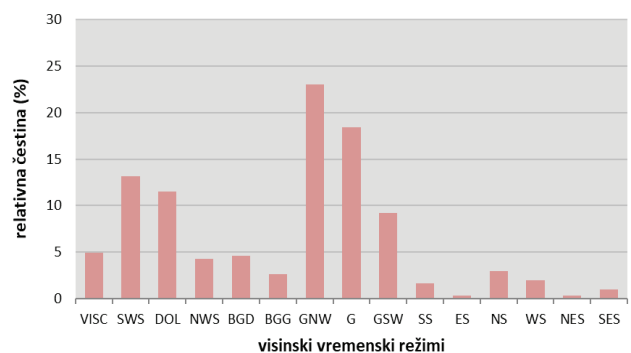
Slika 5.2.9. Srednja visina izobarne plohe apsolutne topografije 500 hPa (gpm) od 1. studenog 2021. do 31. kolovoza 2022. Podaci ERA5 reanalize (ECMWF i Copernicus).

Figure 5.2.9. Mean height of the 500 hPa absolute topography isobaric surface for the period 1 November 2021–31 August 2022. Data source: ERA5 numerical reanalysis (ECMWF and Copernicus).

the atmosphere (near the ground) and in the upper layers. The average state of the atmosphere in the upper layers (e.g., at the height of about 5.5 km – AT 500 hPa) indicates the average flow over a region. Data from the ERA5 numerical reanalysis by the European Center for Medium-Range Weather Forecasts (<https://ecmwf.int>, <https://copernicus.eu>) were used for this analysis. The mean state at the AT 500 hPa isobaric surface between November 2021 and August 2022 shows that a high-pressure ridge was dominant over Europe, and Croatia was on its front side (Figure 5.2.9). In such circumstances, Croatia received relatively dry air that remained over its territory on most days.

These findings were also confirmed by the analysis of upper-air weather regimes for the same period. Weather regimes associated with a ridge (G, GNW, GSW – Figure 5.2.10) were prevalent for more than 50 % of the days in the observed period, which mostly resulted in stable weather conditions. Ridge-related regimes were predominant during the summer months of June and July (more than 80 % of the days). Weather regimes bringing precipitation are mainly those associated with the influence of a trough (DOL and SWS) or an upper level low (VISC). The frequency of such regimes was noticeably lower in comparison with ridge-related regimes. The weather in continental Croatia, and sometimes also in the northern Adriatic, was relatively frequently influenced by a trough, while this influence was negligible or absent in the central and southern Adriatic.

Analysis of air pressure systems in the ground layer of the atmosphere shows that weather types belonging to the radiative regime (Figure 5.2.11) were most common in the period between December 2021 and August 2022. Such a regime is characterized by the absence of precipitation, and by stable weather conditions influenced by an anticyclone. In continental Croatia, weather types belonging to this regime were present on more than 75 % of the days in the observed period. This regime was less prevalent in the Adriatic, but it was still noticeably more frequent than all the others (windy days were more frequent in the Adriatic than in continental Croatia, and the windy regime also does not bring precipitation). The majority of radiative regime days occurred in June and July across the country, which is consistent with the analysis of upper level in the atmosphere. Precipitation regime frequency ranged between 12 % and 16 %, with a slightly higher frequency of precipitation re-



Slika 5.2.10. Učestalost (%) visinskih vremenskih režima iznad Hrvatske u razdoblju 1. prosinca 2021. – 31. kolovoza 2022.

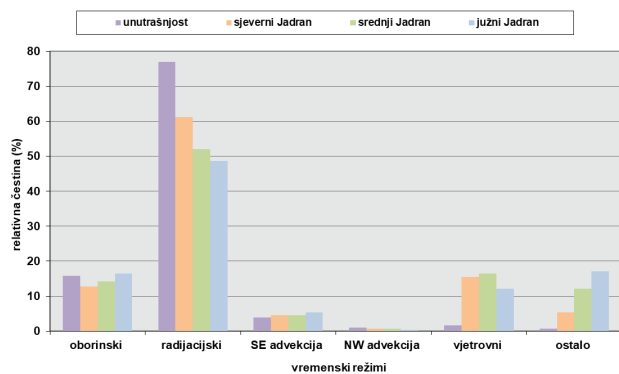
Figure 5.2.10. The frequency (%) of upper-level weather regimes in Croatia for the period 1 December 2021–31 August 2022.

najčešći bili vremenski tipovi koji pripadaju radijacijskom režimu (slika 5.2.11), inače obilježenim izostankom oborine, odnosno stabilnim vremenskim prilikama pod utjecajem anticiklone. U promatranom je razdoblju u unutrašnjosti više od 75 % dana bilo pod nekim tipom koji pripada tom režimu. Na Jadranu je taj režim bio manje zastupljen, no i dalje zamjetno češći od svih ostalih (češći su na Jadranu nego u unutrašnjosti bili oni s vjetrovnim režimom, koji također ne donose oborinu). Najviše je dana s radijacijskim režimom bilo posvuda u lipnju i srpnju, što je u skladu s visinskom analizom. Oborinskog je režima bilo od 12 % do 16 %, pri čemu je malo veća učestalost vremenskih tipova koji pripadaju tom režimu bila u prosincu 2021. te travnju 2022., kada je oko 30 % mjeseca imalo oborinski režim. Nasuprot tomu u ljetnim mjesecima dani s oborinskim režimom bili su vrlo rijetki (do najviše tri dana u mjesecu), a na srednjem Jadranu u srpnju te južnom Jadranu u srpnju i kolovozu čak su i potpuno izostali.

Za procjenu hidrološke situacije površinskih voda tijekom 2022. godine uspoređeni su prosječni mjesečni protoci (Q) na hidrološkim postajama DHMZ-a od listopada 2021. do kraja listopada 2022. s prosječnim mjesečnim protocima tijekom referentnog razdoblja 1991. – 2020. (Qref). Na slici 5.2.12 prikazani su njihovi omjeri na hidrološkim postajama na Muri (Mursko Središće), Dravi (Terezino Polje), Savi (Zagreb, Županja stepenica), Kupa (Hrvatsko, Kamanje), Mirni (Portonski most), Krki (Skradinski buk gornji) i Jadru (Majdan). Vrijednosti manje od 100 % upućuju na protoke niže od prosječnih. Vidljivo je da su u razmatranom razdoblju na većini analiziranih postaja protoci uglavnom bili niži od prosjeka.

Najniže vrijednosti protoka izmjerene su na Mirni na Portonskom mostu, gdje su vrijednosti protoka bile u rasponu od 7 % do 74 % i kratkotrajno su narasle samo tijekom rujna 2022. uslijed ekstremne oborine. Tijekom srpnja ovdje je zabilježen i novi apsolutni minimalni protok koji je dodatno pao tijekom kolovoza 2022. Novi minimalni protoci zabilježeni su i na Krki tijekom listopada i studenog 2021. te su se ponovili tijekom kolovoza i rujna 2022.

Općenito, protoci na svih devet postaja bili su ispod 50 % prosječnih vrijednosti tijekom ožujka 2022. te



Slika 5.2.11. Učestalost (%) prizemnih vremenskih režima za četiri područja Hrvatske od 1. prosinca 2021. do 31. kolovoza 2022.

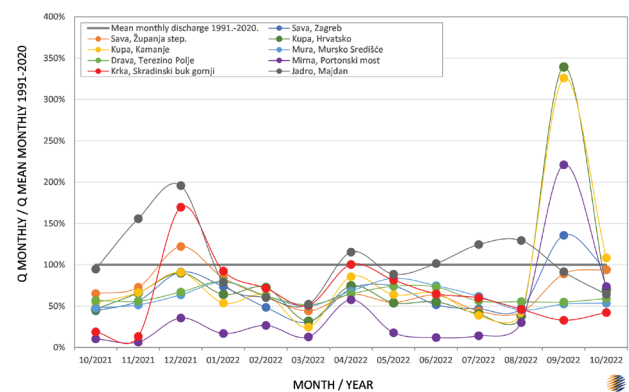
Figure 5.2.11. The frequency (%) of low-level weather regimes in four Croatian regions for the period 1 December 2021 – 31 August 2022.

gime types in December 2021 and April 2022. Precipitation regime was present on approximately 30 % days in April 2022. In contrast, precipitation regime days were very rare in the summer months (up to a maximum of 3 days per month) and absent altogether in the central Adriatic in July and in the southern Adriatic in July and August.

To assess the hydrological situation of surface water in 2022, the mean monthly discharges (Q) registered at the DHMZ hydrological stations in the period between October 2021 and the end of October 2022 were compared with the corresponding average monthly discharges (Qref) for the reference period 1991-2020. Figure 5.2.12 shows their ratio at the stations on the Mura (Mursko Središće), the Drava (Terezino Polje), the Sava (Zagreb, Županja stepenica), the Kupa (Hrvatsko, Kamanje), the Mirna (Portonski most), the Krka (Skradinski Buk Gornji) and the Jadro (Majdan). Values below 100 % indicate lower than average discharges. Within the analysed period, discharges were generally lower than the average at most of the analysed stations.

The lowest discharge values were recorded at the Mirna River at Portonski most, ranging between 7 % and 74 %, and rising shortly only for a brief period in September 2022 due to extreme precipitation. In July 2022, a new absolute minimum discharge was recorded at this station, followed by even lower values in August 2022. New minimum discharges were also recorded on the Krka in October and November 2021, and again in August and September 2022. In general, discharges at all nine stations were below 50 % of the mean discharge values in March 2022 and again in August 2022, except for the Jadro river. In general, most Croatian rivers had below-average discharges in the analysed 13-month period (Oct 2021-Oct 2022).

The groundwater systems of the alluvial aquifers in central, northern and eastern Croatia (around the Sava and north of it) are inert and primarily dependent on groundwater inflow, surface waters (which have been recording minimum values for some time), and precipitation. Drought takes longer to develop in such aquifers, but also lasts longer due to slower groundwater flow. Minimal ground-



Slika 5.2.12. Postotni omjer prosječnih mjesečnih protoka od listopada 2021. do listopada 2022. s prosječnim mjesečnim protocima referentnog razdoblja 1991. – 2020. za devet hidroloških postaja DHMZ-a.

Figure 5.2.12. Percentage ratio of mean monthly discharges (Q) from October 2021 to October 2022 to the 1991-2020 reference mean monthly discharges at nine DHMZ hydrological stations.

ponovno tijekom kolovoza 2022., izuzev Jadrta. Tijekom analiziranih 13 mjeseci većinom rijeka u Hrvatskoj protekla je ispodprosječna količina vode.

Sustavi podzemnih voda u aluvijalnim vodonosnicima središnje, sjeverne i istočne Hrvatske (tj. oko Save i sjeverno od nje) inertni su te primarno ovise o podzemnom dotoku, površinskim vodama koje već dulje bilježe minimum i oborinama. U njima se suša dulje razvija, ali i dulje traje zbog sporijeg tečenja podzemljem. Minimumi podzemnih voda u tom dijelu Hrvatske bilježeni su uglavnom krajem ljeta i tijekom jeseni, no tijekom 2022. pojavljivali su se ranije nego što je uobičajeno te su zabilježeni i novi apsolutni minimumi razina podzemnih voda uz Dravu. Primjer pijezometra Gornjeg Miholjca uz Dravu (slika 5.2.13) pokazuje ekstremno niske razine podzemne vode (RPV), niže od minimuma zabilježenog 16. 12. 1990., a koje su trajale od srpnja do početka listopada 2022. Podzemne vode uz Savu tijekom ljeta 2022. bile su niske, no nisu pale ispod povijesnih minimalnih vrijednosti.

## Literatura

- DHMZ (2022) Meteorološki i hidrološki bilten. Državni hidrometeorološki zavod, <https://radar2.dhz.hr/~stars2/bilten/2022/bilten0822.pdf>.
- SNIŽ (2022) Službene novine Istarske županije, br. 21, [https://www.istra-istria.hr/media/filer\\_public/30/8a/308a4f06-81a3-429b-9fc4-6e74786a224f/broj21-od-02-08-2022.pdf](https://www.istra-istria.hr/media/filer_public/30/8a/308a4f06-81a3-429b-9fc4-6e74786a224f/broj21-od-02-08-2022.pdf).
- United Nations Environment Programme (1992) World Atlas of Desertification.
- Perčec Tadić, M., Gajić-Čapka, M., Zaninović, K., Cindrić, K. (2014) Drought Vulnerability in Croatia. Agric. conspec. sci, vol. 79.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization, Rome.

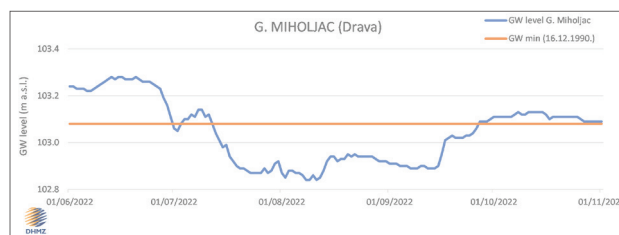
## 5.3 NEVRIJEME S OBILNOM TUČOM U HRVATSKOM ZAGORJU I NA KARLOVAČKOM PODRUČJU 2. LIPNJA 2022.

Ivana Havrle Kozarić, Matea Štibuhar, Tomislav Kozarić

### Uvod

Nedugo nakon grmljavinskog nevremena s tučom koje je 25. svibnja pogodilo sjeverne, središnje i istočne predjele Hrvatske, osobito Krapinsko-zagorsku, Međimursku, Koprivničko-križevačku i Varaždinsku županiju, u lipanj je počeo nestabilnim vremenom.

Kasno poslijepodne i navečer 2. lipnja nevrijeme s tučom, jakim vjetrom i lokalno obilnom kišom zahvatilo je sjeverozapadne i središnje predjele unutrašnjosti. Zabilježene su velike štete na poljoprivrednim usjevima, vinogradima i voćnjacima, kao i materijalne štete na ku-



Slika 5.2.13. Razina podzemne vode (RPV) u pijezometru Gornji Miholjac za razdoblje 1. 6. – 31. 10. 2022. prati niske vodostaje Drave, što je rezultiralo novim apsolutnim minimumima RPV-a (ispod crvene linije).

Figure 5.2.13. Groundwater levels (GWL) in the piezometer at the Gornji Miholjac station for the period 1 Jun-31 Oct 2022 follow Drava's low water levels, which resulted in a new absolute GWL minimum (below the red line).

water levels in this part of Croatia were usually recorded at the end of summer and in autumn. However, in 2022, the minimums occurred earlier than usually, and new absolute minimal groundwater levels were recorded along the Drava. The example of the piezometer at the Gornji Miholjac station (Figure 5.2.13) shows extremely low groundwater levels (GWL) of the Drava, which lasted from July 2022 to the beginning of October 2022, and were lower than the minimum recorded on 16 December 1990. Groundwater level along the Sava was low in the summer of 2022, but did not fall below the historical minimum

## References

- DHMZ (2022) Meteorološki i hidrološki bilten. Državni hidrometeorološki zavod, <https://radar2.dhz.hr/~stars2/bilten/2022/bilten0822.pdf>.
- SNIŽ (2022) Službene novine Istarske županije, br. 21, [https://www.istra-istria.hr/media/filer\\_public/30/8a/308a4f06-81a3-429b-9fc4-6e74786a224f/broj21-od-02-08-2022.pdf](https://www.istra-istria.hr/media/filer_public/30/8a/308a4f06-81a3-429b-9fc4-6e74786a224f/broj21-od-02-08-2022.pdf).
- United Nations Environment Programme (1992) World Atlas of Desertification.
- Perčec Tadić, M., Gajić-Čapka, M., Zaninović, K., Cindrić, K. (2014) Drought Vulnerability in Croatia. Agric. conspec. sci, vol. 79.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization, Rome.

## 5.3 SEVERE THUNDERSTORM AND HAIL IN HRVATSKO ZAGORJE AND IN THE KARLOVAC REGION, 2 JUNE 2022

Ivana Havrle Kozarić, Matea Štibuhar, Tomislav Kozarić

### Introduction

Not long after the northern, central and eastern Croatian regions were battered by a thunderstorm and hail on





Slika 5.3.1. Nanosi tuče na kumrovečkom području (izvor: portal Večernjeg lista, <https://www.vecernji.hr>, foto: Hrvatska vatrogasna zajednica).

Figure 5.3.1. Hail drifts in the Kumrovec area (source: Večernji list portal, <https://www.vecernji.hr>, photo: Croatian Firefighting Association).

ćama i gospodarskim objektima te automobilima. Velika količina kiše prouzročila je poplavljanje mnogih stambenih objekata, najčešće podrumskih prostorija, a otežavala je i prometovanje na pojedinim dionicama cesta, osobito na područjima s velikim nanosima tuče kao što je bilo u Kumrovcu i okolici (slika 5.3.1). Promet je ondje normaliziran tek nakon što je ralica s ceste uklonila nanose tuče veličine trešnje i oraha, a dežurne službe odvode su očistile od granja i lišća. Probleme je stvarao i olujni vjetar rušeći grane i stabla, zbog čega je bilo prekida u opskrbi električnom energijom.

### Sinoptička situacija

Nad Hrvatskom je 2. lipnja bilo prisutno zonalno strujanje između grebena nad Mediteranom koji je postupno slabio i ruba prostrane termobaričke doline sa središtem nad Skandinavijom (slika 5.3.2). Istodobno je na rubu grebena bila prisutna kratkovalna termička dolina, istaknutija u nižim slojevima atmosfere.

Granica zračnih masa bila je dobro definirana kvazistacionarnim frontalnim sustavom koji se zadržavao nad Alpama i protezao od Francuske do istočne Europe, a potom vezao na hladnu frontu od ciklone nad Finskom (slika 5.3.3).

Vlažna zračna masa koja se tijekom dana zadržavala u području južnih Alpa nad sjevernom Italijom i Slovenijom postala je izvor nestabilnosti. Dnevno zagrijavanje i položaj kvazistacionarnog frontalnog sustava pospješili su orografsko dizanje vlažnog zraka pa je tijekom poslijepodneva u tom području počela inicijacija konvektivnih procesa. Promjena strujanja u nižim slojevima atmosfere s jugozapadnog u sjeveroistočno i istočno te sinoptički procesi u srednjoj troposferi koji su doveli do okretanja visinskog strujanja sa zapadnog na sjeverozapadno utjecali su na povećanje vertikalnog smicanja vjetra.

### Vremenske prilike tijekom dana

U većem dijelu četvrtka, 2. lipnja 2022. prevladavalo je sunčano vrijeme s uglavnom slabim vjetrom. U

25. svibnja, posebno u Krapina-Zagorje, Međimurje, Koprivnica-Križevci i Varaždin županijama, 2. lipnja započeo je s nestabilnim vremenom.

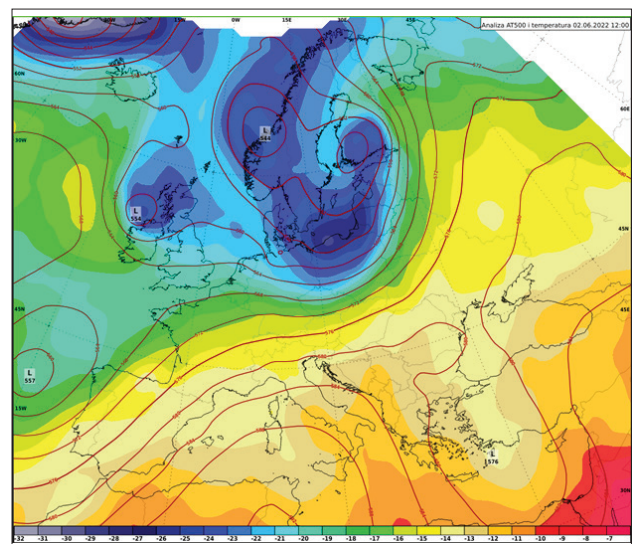
Grmljavine s kišom, jakim vjetrovima i lokalno teškim kišama udarile su sjeverozapadne i središnje kontinentalne Hrvatske u kasno popodne i večernje sate 2. lipnja 2022., što je uzrokovalo značajnu štetu na poljoprivredi, vinogradima i voćnjacima, kao i na stambenim i komercijalnim zgradama i motornim vozilima. Ispali su izvijestili o veličini kivi i oraha. Broj stambenih zgrada poplavljenih zbog teških kišnih padalina, uglavnom u njihovim podzemnim dijelovima, a promet je bio prekinut na nekim cestama, posebno u područjima s velikim nanosima tuče kao što je Kumrovec i okolice (slika 5.3.1). Promet je normaliziran tek nakon što je ralica s ceste uklonila nanose tuče veličine trešnje i oraha, a dežurne službe odvode su očistile od granja i lišća. Probleme je stvarao i olujni vjetar rušeći grane i stabla, zbog čega je bilo prekida u opskrbi električnom energijom.

### Synoptic situation

Na 2. lipnja, zonalni gornji sloj bio je prisutan nad Hrvatskom između postepeno slabljenog grebena nad Mediteranom i ruba velike termobaričke doline središtem nad Skandinavijom (slika 5.3.2). U isto vrijeme, na rubu grebena bila je prisutna kratkovalna termička dolina, istaknutija u nižim slojevima atmosfere.

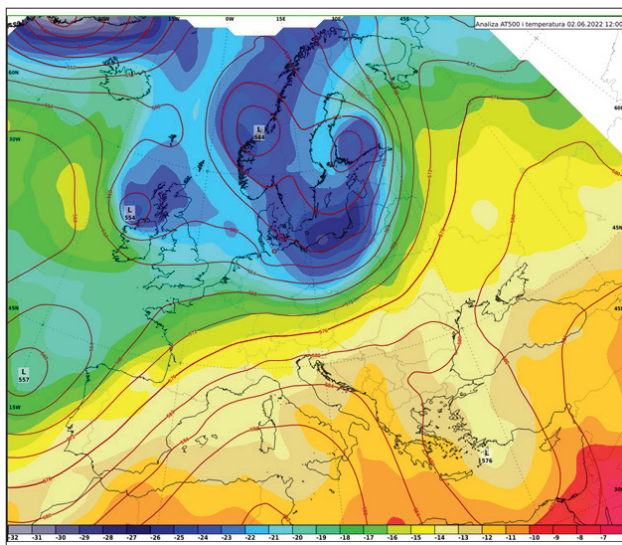
Granična zona zračnih masa bila je dobro definirana kvazistacionarnim frontalnim sustavom koji se zadržavao nad Alpama i protezao od Francuske do istočne Europe, a potom se vezao na hladnu frontu ciklone nad Finskom (slika 5.3.3).

Vlažna zračna masa koja se tijekom dana zadržavala u području južnih Alpa nad sjevernom Italijom i Slovenijom postala je izvor nestabilnosti. Dnevno zagrijavanje i položaj kvazistacionarnog frontalnog sustava pospješili su orografsko dizanje vlažnog zraka pa je tijekom poslijepodneva u tom području počela inicijacija konvektivnih procesa. Promjena strujanja u nižim slojevima atmosfere s jugozapadnog u sjeveroistočno i istočno te sinoptički procesi u srednjoj troposferi koji su doveli do okretanja visinskog strujanja sa zapadnog na sjeverozapadno utjecali su na povećanje vertikalnog smicanja vjetra.



Slika 5.3.2. Analiza geopotencijalne visine (gpdam) apsolutne topografije 500 hPa plohe i temperature zraka (°C) na 500 hPa plohi 2. lipnja 2022. u 12:00 UTC.

Figure 5.3.2. Analysis of the geopotential height (gpdam) of the absolute topography at the 500 hPa surface and the air temperature (°C) at the 500 hPa surface, 2 June 2022 at 12:00 UTC.



Slika 5.3.3. Prizemna sinoptička karta 2. lipnja 2022. u 12:00 UTC (izvor: DWD).

Figure 5.3.3. Surface synoptic map, 2 June 2022 at 12:00 UTC. Source: DWD.

poslijepodnevni satima bilo je vrlo toplo uz temperaturu zraka između 25 i 28 °C u 12:00 UTC (slika 5.3.4). Razmjerno visoke vrijednosti temperature rosišta, od 14 do 17 °C, upućuju na postojanje dovoljne količine vlage u nižim slojevima atmosfere za pokretanje inicijacije konvektivnih procesa.

#### Radiondažni, radarski i satelitski podaci te podaci o munjama

Radiondažnim mjerenjem na postaji Zagreb-Maksimir u 12:00 UTC dobiveni su podaci o vertikalnom profilu atmosfere (slika 5.3.5). Analiza radiondaže pokazuje relativno nestabilnu atmosferu s procijenjenom vrijednosti raspoložive konvektivne potencijalne energije najnestabilnije česti (MUCAPE) od oko 640 J/kg i malom

came a source of instability. Diurnal heating and the position of the quasi-stationary frontal system enhanced the orographic lift of moist air, starting convective initiation in the area in the afternoon. The change in flow from south-westerly to northeasterly in the lower troposphere, and from westerly to north-westerly aloft, led to increased deep layer vertical wind shear.

#### Weather situation during the day

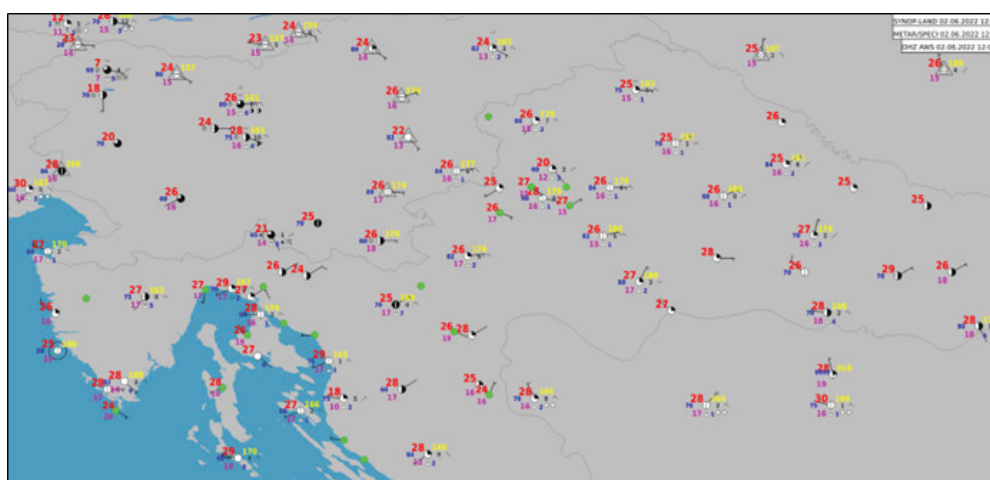
The weather was sunny, and wind was mostly light for most of the day on 2 June in northwestern Croatia. The afternoon was very warm, with air temperatures ranging between 25 °C and 28 °C at 12:00 UTC (Figure 5.3.4). Relatively high dew point temperature values of between 14 °C and 17 °C indicate that a sufficient amount of moisture was present in the lower layers of the atmosphere to initiate convective processes.

#### Radio sounding, radar, satellite and lightning data

Radio sounding at the Zagreb-Maksimir station at 12:00 UTC provided data on the vertical profile of the atmosphere (Figure 5.3.5). Radio sounding analysis showed a relatively unstable atmosphere, with an estimated most unstable convective available potential energy (MUCAPE) of about 640 J/kg and low Convective Inhibition (CIN) of about 10 J/kg. For an air parcel to start rising freely, it must be brought to the Level of Free Convection (LFC) at approximately 1500 m. Despite low convective inhibition, no convective development occurred over Croatia due to the lack of vertical forcing.

However, the conditions were conducive to convective initiation over the southern Alps and Slovenia, as described in the previous section.

Convective developments started over the Alps, where the initiation of convection was most likely due to orographic reasons. Convective clouds then moved over Slovenia, where the conditions were conducive to the development of organized convection. The height of the Lift-

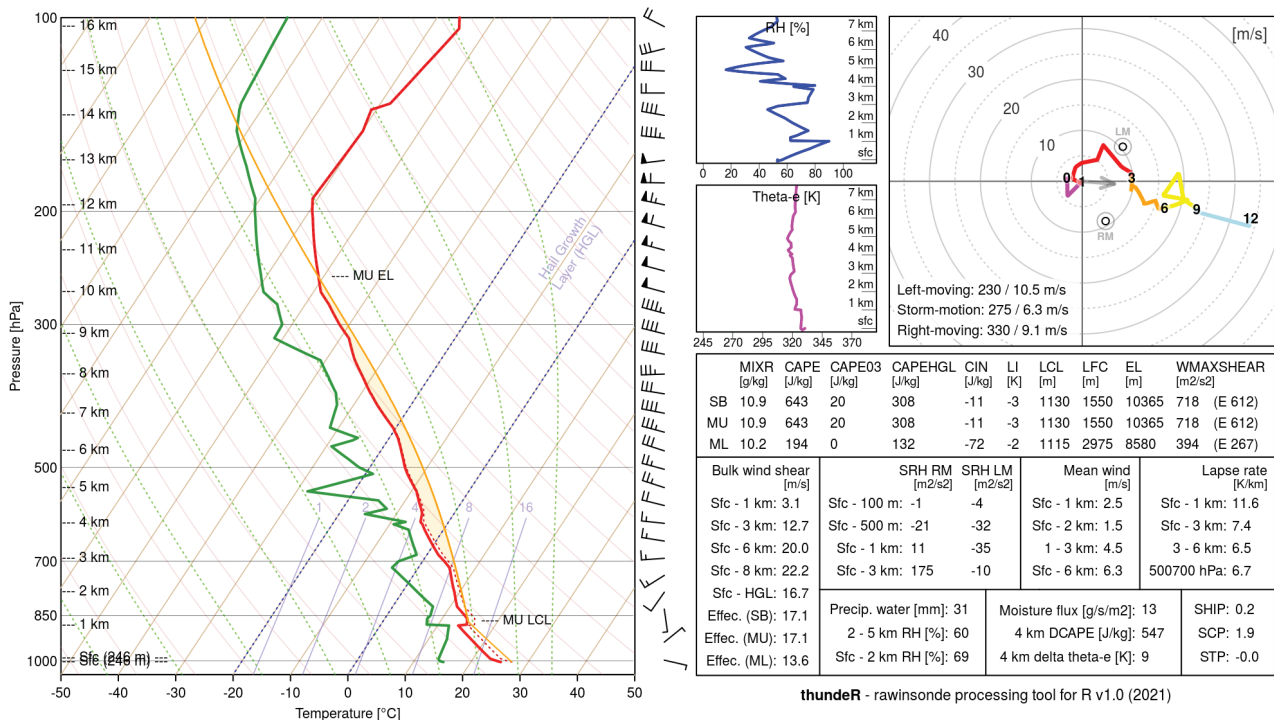


Slika 5.3.4. SYNOP podaci u središnjoj i gorskoj Hrvatskoj, na sjevernom Jadranu te u Sloveniji 2. lipnja 2022. u 12:00 UTC.

Figure 5.3.4. SYNOP data in the central and mountainous Croatia, northern Adriatic and Slovenia, 2 June 2022 at 12:00 UTC.



WMO ID: 14240 (16.03 E 45.82 N), 02 Jun 2022 (Thursday) 1200 UTC



Slika 5.3.5. Radiosondažno mjerenje na postaji Zagreb-Maksimir 2. lipnja 2022. u 12:00 UTC.

Figure 5.3.5. Radio sounding measurement at the Zagreb-Maksimir station, 2 June 2022 at 12:00 UTC.

konvektivnom inhibicijom (CIN) čija je vrijednost bila oko 10 J/kg. Da bi se čest zraka mogla slobodno početi dizati, treba je dovesti do razine slobodne konvekcije (LFC) na otprilike 1500 m. Unatoč maloj konvektivnoj inhibiciji nad Hrvatskom zbog nedostatka vertikalnog forsiranja nisu nastali konvektivni razvoji.

Međutim, nad južnim Alpama i Slovenijom uvjeti su bili povoljni za inicijaciju (opisano u prošlom poglavlju).

Konvektivni razvoji započeli su nad Alpama, gdje je zbog orografije inicijacija konvekcije bila najvjerojatnija. Zatim su se konvektivni oblaci premještali nad Sloveniju, gdje su postojali pogodni uvjeti za razvoj organizirane konvekcije. Visina nivoa kondenzacije (Lifting Condensation Level, LCL) bila je oko 1100 m, što ide u prilog uvjetima nastanka tuče (nastanak je vjerojatan ako se LCL nalazi na visinama između 1000 i 1500 m). Štoviše, većina energije, odnosno CAPE-a, bila je prisutna upravo u zoni rasta tuče (Hail Growth Layer, HGL), što je pogodovalo potencijalnom rastu zrna tuče.

Veličinom DCAPE (Downward Convective Available Potential Energy) definira se maksimalna energija koju može imati silazeća čest zraka, a što je veća vrijednost, to je i očekivana brzina vjetera veća. Vrijednost DCAPE-a bila je 547 J/kg, što upućuje na postojanje povoljnih uvjeta za nastanak olujnih konvektivnih udara.

Za procjenu organizacije ćelija treba poznavati iznos smicanja vjetera u sloju atmosfere između tla i 6 km visine (*bulk wind shear*), pri čemu vrijednosti veće od 15 m/s upućuju na mogućnost nastanka superćelijskih oluja. U ovom slučaju, prema procjeni podataka iz radio-

ing Condensation Level (LCL) was around 1100 m, which is conducive to the formation of hail (hail formation is likely if LCL is at 1000-1500 m). Most of the energy (CAPE) was in the Hail Growth Layer (HGL), contributing to potential hailstone growth. Downward Convective Available Potential Energy (DCAPE) is used to define the maximum potential energy of a descending air parcel. The higher the value, the higher the expected wind speed. DCAPE value was 547 J/kg, which is conducive to the occurrence of convective gale gusts.

The Deep Layer Wind Shear (DLS) in the atmosphere between the ground and the height of 6 km is needed to assess the type of convection or the organization of convective cells. Bulk wind shear values greater than 15 m/s indicate the possibility of supercell storms. In this case, according to wind shear data from the radio sounding measurement, DLS was about 20 m/s (Figure 5.3.5).

In the described atmospheric conditions, a hail-carrying supercell formed over southern Austria and Slovenia (Figure 5.3.6a) with the potential for gale gusts. The supercell continued to move from Slovenia towards northwestern Croatia and to grow in strength (Figure 5.3.6b). In the radar composite image, pink and purple hues (reflectivity > 60 dBZ) indicate a high probability of hail on the ground.

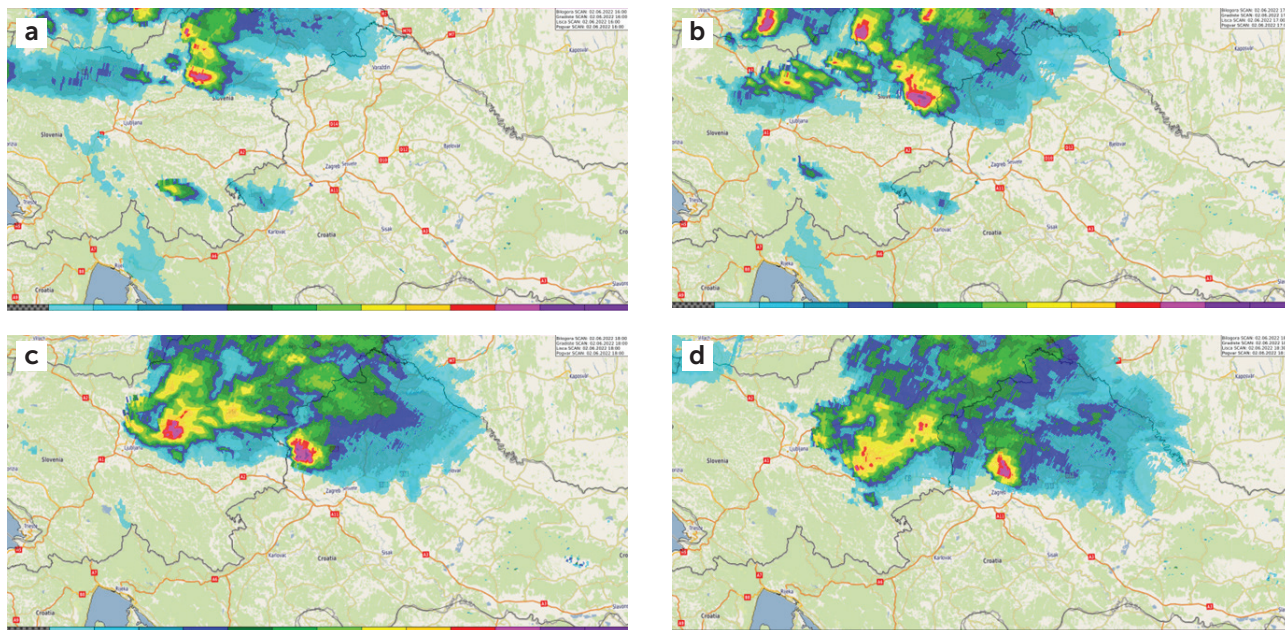
At around 17:30 UTC, the supercell entered Croatian territory (Figure 5.3.6c), first depositing large amounts of hail in the Kumrovec area and disrupting road traffic, destroying crops and damaging infrastructure (Figure 5.3.7). In the north-westerly flow, the cell continued to move over Hrvatsko Zagorje, bringing hail and gale force wind to many

sondažnog mjerenja, iznos smicanja bio je oko 20 m/s (slika 5.3.5).

U opisanim atmosferskim uvjetima nad južnom Austrijom i Slovenijom nastala je tučonosna superćelija (slika 5.3.6a) s potencijalom i za olujne udare vjetra, koja

places, and to the eastern Zagreb area, where it began to weaken (Figure 5.3.6d).

At around 19:00 UTC, a new hail-carrying supercell with the potential for gale gusts formed in Slovenia between Ljubljana and Novo Mesto, entering Croatia over



Slika 5.3.6. Radarske slike 2. lipnja 2022. u 16:00 UTC (a), 17:00 UTC (b), 18:00 UTC (c), 18:30 UTC (d).

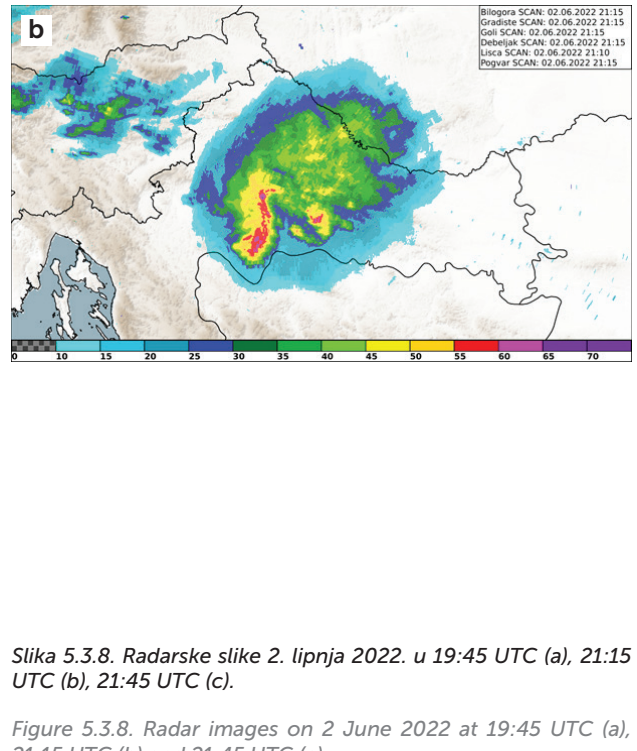
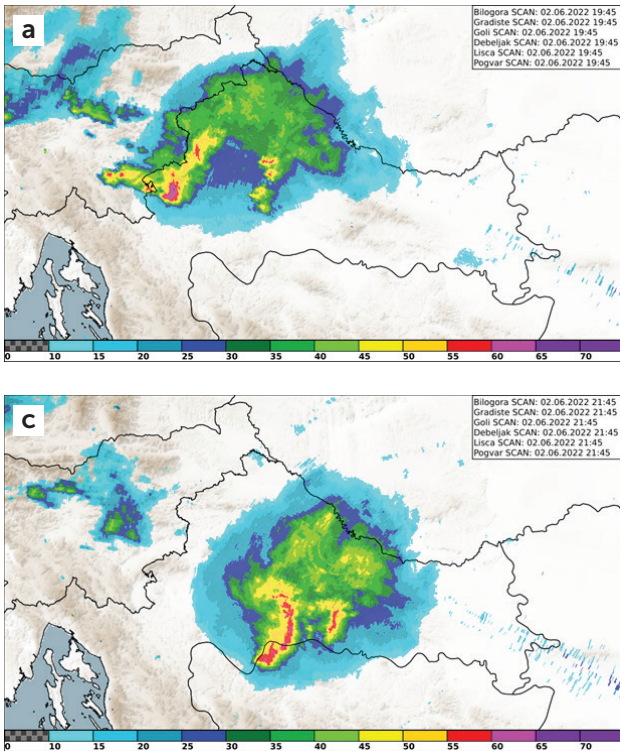
Figure 5.3.6. Radar images on 2 June 2022 at 16:00 UTC (a), 17:00 UTC (b), 18:00 UTC (c) and 18:30 UTC (d).



Slika 5.3.7. Uništene poljoprivredne kulture na kumrovečkom području (izvor: portal Večernjeg lista, foto lijevo: čitateljica Lidija M., foto desno: Slaven Branislav Babić/PIXSELL).

Figure 5.3.7. Destroyed crops in the Kumrovec area (source: Večernji list portal, photo on the left: Lidija M., photo on the right: Slaven Branislav Babić/PIXSELL).





Slika 5.3.8. Radarske slike 2. lipnja 2022. u 19:45 UTC (a), 21:15 UTC (b), 21:45 UTC (c).

Figure 5.3.8. Radar images on 2 June 2022 at 19:45 UTC (a), 21:15 UTC (b) and 21:45 UTC (c).

se iz Slovenije nastavila gibati prema sjeverozapadnoj Hrvatskoj i jačati (slika 5.3.6b). Na radarskom kompozitu ružičaste i ljubičaste nijanse (odražajnost > 60 dBZ) upućuju na veliku vjerojatnost pojave tuče pri tlu.

Oko 17:30 UTC ušla je u hrvatski teritorij (slika 5.3.6c) te je najprije na širem kumrovečkom području lokalno pala obilna tuča koja je onemogućila prometovanje na cestama, uništila poljoprivredne kulture, a bilo je i oštećenja na infrastrukturi (slika 5.3.7). U sjeverozapadnoj struji čelija se nastavila gibati preko Hrvatskog zagorja, donoseći mnogim mjestima tuču i olujni vjetar,

Žumberak (Figure 5.3.8a-c). In a north-westerly flow, it moved over the Karlovac area and transformed itself into a linear Mesoscale Convective System (MCS) over Banovina. The MCS continued to move to the east and southeast, and weakened as it entered Bosnia and Herzegovina.

Crops, motor vehicles and buildings sustained the greatest damage from hail and gale in the Karlovac County and southwestern parts of the Zagreb County. Fallen trees also caused problems (Figure 5.3.9).

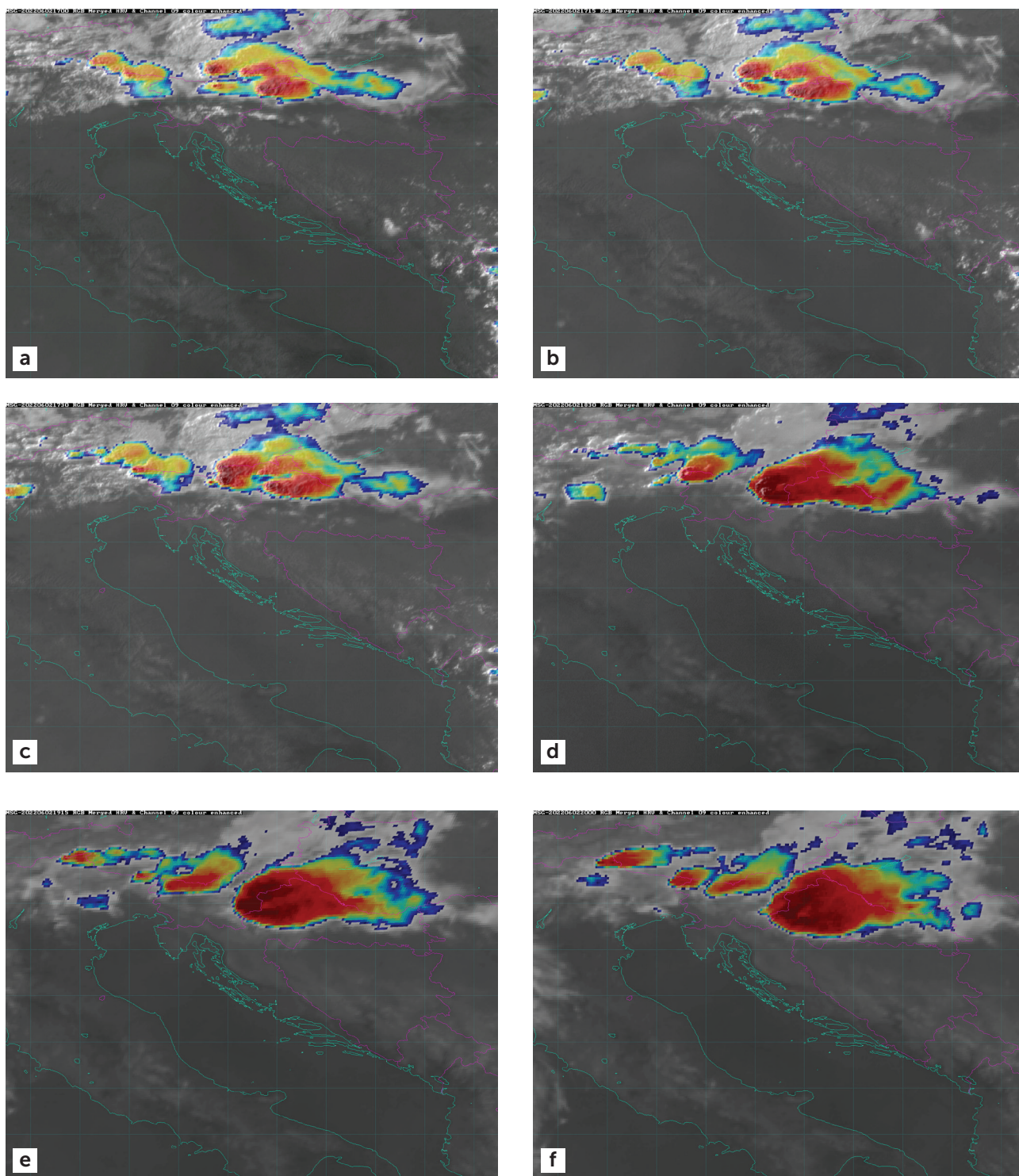
Satellite imagery combined in a so-called sandwich product clearly shows very cold tops of convective clouds, coloured in dark red, with the temperature around 200 K



Slika 5.3.9. Srušena i oštećena stabla u Karlovcu snimljena sjedeći dan (izvor: kaportal.net.hr).

Figure 5.3.9. Fallen and damaged trees in Karlovac, photos taken a day after (source: kaportal.net.hr).





Slika 5.3.10. Sandwich produkt – kombinacija satelitskih snimki u vidljivom dijelu spektra visoke prostorne rezolucije (HRV) te infra-crvenom dijelu spektra (EN IR 10.8  $\mu\text{m}$ ) na kojoj boje označavaju temperaturu od 200 K (tamnocrveno) do 240 K (plavo) na dan 2. lipnja 2022. u terminima 17:00 UTC (a), 17:15 UTC (b), 17:30 UTC (c), 18:30 UTC (d), 19:15 UTC (e), 20:00 UTC (f) (izvor: EUMETSAT).

Figure 5.3.10. Sandwich product – a combination of satellite images in the visible part of the spectrum with high spatial resolution (HRV) and in the infrared part of the spectrum (EN IR 10.8  $\mu\text{m}$ ) on 2 June 2022 at 17:00 UTC (a), 17:15 UTC (b), 17:30 UTC (c), 18:30 UTC (d), 19:15 UTC (e) and 20:00 UTC (f). The colours indicate temperatures from 200 K (dark red) to 240 K (blue). Source: EUMETSAT.

prema istočnom zagrebačkom području, gdje je počela slabjeti (slika 5.3.6d).

Oko 19 UTC u Sloveniji je između Ljubljane i Novog Mesta nastala nova tučonosna superćelija s potencijalom za olujne udare vjetra koja je u hrvatski teritorij ušla preko Žumberka (slike 5.3.8a–c). U sjeverozapadnom strujanju premještala se preko karlovačkog područja te se nad Banovinom organizirala u linijski mezoskalni konvektivni sustav (MCS) koji se nastavio gibati prema istoku i jugoistoku, a ulaskom u Bosnu i Hercegovinu počeo je slabjeti.

Najveće štete od tuče i olujnog vjetra nastale su u Karlovačkoj županiji te na jugozapadu Zagrebačke županije, gdje su nastradale poljoprivredne kulture, automobili, građevine, a probleme su stvorila i srušena stabla (slika 5.3.9).

Na satelitskim snimkama složenim u tzv. *sandwich* produkt jasno se vide vrlo hladni vrhovi konvektivnih oblaka, u ovom produktu obojeni tamnocrveno, temperatura oko 200 K (slike 5.3.10a–g). Oni upućuju na jak vertikalni razvoj oblaka koji je dosegnuo tropopauzu, što se vidi kao tzv. *overshooting tops*, pogotovo kod prve superćelije kad se nalazila nad kumrovečkim područjem (slike 5.3.10a–c).

U drugoj superćeliji koja se transformirala u mezoskalni konvektivni sustav na satelitskim snimkama vidljivi su tamnocrveni (hladni) U i V oblici, a u jednom terminu i zatvoreni prstenasti oblik, tipični za intenzivne konvektivne procese (slike 5.3.10d–g).

Konvektivni razvoji bili su praćeni izraženim električnim pražnjenjem u atmosferi, što pokazuju podaci o detekciji munja u šestosatnom razdoblju od 14:00 do 20:00 UTC (slika 5.3.11). Sjevernija linija munja odnosi se na superćelijski sustav nad Hrvatskim zagorjem, a južnija na ćeliju u Karlovačkoj županiji.

Ćelije su tijekom noći na petak odmicale na istok, slabjele i postupno se raspadale pa se vremenska situacija smirila.

## Diskusija

Analizom vremenskih uvjeta na dan 2. lipnja 2022. utvrđeno je postojanje uvjeta za razvoj superćelijskih oluja na području Slovenije, osobito južnih Alpa, koje su u sjeverozapadnoj struji ulazile u hrvatski teritorij. Praćene obilnom oborinom, tučom i olujnim udarima vjetra, prouzročile su velike štete na poljoprivrednim kulturama, infrastrukturi, automobilima te je bilo problema u prometovanju.

Za njihov razvoj bili su potrebni vlažan zrak u nižim slojevima atmosfere, nestabilnost te mehanizam dizanja česti do nivoa slobodne konvekcije. Svi ti uvjeti bili su ispunjeni, osobito u orografski višim predjelima gdje su ćelije najprije nastajale. Prema radiosondažnom mjerenju u 12:00 UTC na postaji Zagreb-Maksimir uvjeti su i nad najzapadnijim dijelom središnje Hrvatske bili povoljni za održavanje već nastalih konvektivnih procesa, osobito zbog velike vrijednosti vertikalnog smicanja od oko 20 m/s te dovoljno prizemne vlage.

Ipak, postojao je problem pri prognoziranju izražene konvekcije u središnjoj Hrvatskoj zbog gotovo nikakva signala u modelskim poljima naoblake i oborine

(Figures 5.3.10a–g). They indicate a strong vertical development of clouds that reached the tropopause. This is manifested in the form of so-called Overshooting Tops (OT), especially in the case of the first supercell at the time when it was moving over the Kumrovec area (Figures 5.3.10a–c). In the second supercell, which transformed into a Mesoscale Convective System, satellite images show dark red (cold) U and V shapes, along with a closed ring shape at one point in time, which is typical of intense convective processes (Figures 5.3.10d–g).

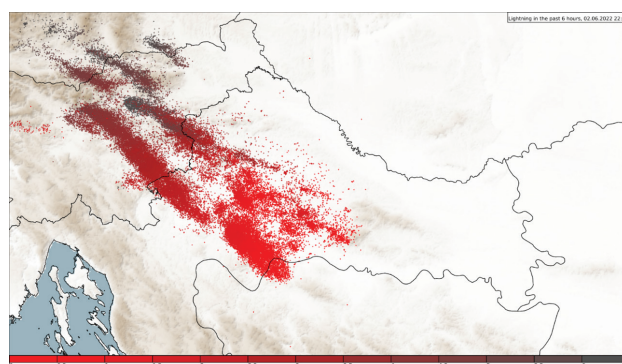
Convective developments were accompanied by pronounced electrical discharge in the atmosphere, as shown by lightning detection data in the 6-hour period from 14:00 UTC to 20:00 UTC (Figure 5.3.11). The northern line of lightning refers to the supercell system over Hrvatsko Zagorje, and the southern line refers to the cell in the Karlovac County.

As the cells moved to the east during the night on Friday, they gradually died out, and the weather situation calmed down.

## Discussion

The analysis of weather conditions on 2 June 2022 established the existence of conditions conducive to the development of supercell thunderstorms. The supercells developed in Slovenia, especially in the southern Alps, and were entering Croatia in the north-westerly mid-level air flow. Accompanied by heavy precipitation, hail and gale force wind gusts, they caused substantial damage to crops, infrastructure and motor vehicles, as well as traffic disruptions.

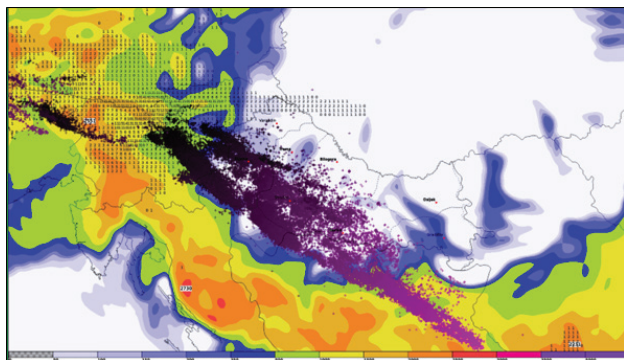
Their development required moist air in the lower layers of the atmosphere, instability and a lifting mechanism to lift air parcels to the free convection level. All these conditions were met, especially in orographically higher areas where the cells first formed. Radio sounding measurement at 12:00 UTC at the Zagreb-Maksimir station shows that the conditions over the westernmost part of central Croatia were also conducive to maintaining the convective processes that had already occurred, especially due to the



Slika 5.3.11. Detekcija munja 2. lipnja 2022. od 14:00 UTC do 20:00 UTC.

Figure 5.3.11. Lightning detection on 2 June 2022, 14:00–20:00 UTC.





Slika 5.3.12. ALADIN prognoza maksimalnog CAPE-a i akumulirane oborine između 2. lipnja 2022. u 18:00 UTC i 3. lipnja 2022. u 06:00 UTC te detekcija munja u istom razdoblju (ljubičasto).

Figure 5.3.12. ALADIN forecast of maximum CAPE and accumulated precipitation in the period between 2 June 2022 at 18:00 UTC and 3 June 2022 at 06:00 UTC as well as lightning detection in the same time period (purple).

u stvarno vrijeme dolaska konvektivnog sustava. Tek sredinom noći i osobito u njezinu drugom dijelu prognostički modeli (uglavnom Aladin 2 km) su simulirali izraženiju oborinu uz granicu sa Slovenijom, a u kasnijim terminima se premještala na istok pa se može zaključiti da je modelska prognoza konvekcije bila zakašnjela i nedovoljno izražena.

Razmjerno neprecizna modelska prognoza očituje se i u premalim vrijednostima CAPE-a, odnosno nestabilnosti te izostankom oborine nad dijelom Hrvatske, pogotovo u područjima preko kojih su se konvektivne čelije iz Slovenije nastavile kretati tijekom noći (slika 5.3.12). Za područje Slovenije model je bio prilično pouzdan i u prognozi nestabilnosti i u polju oborine.

## 5.4 Toplinski valovi tijekom ljeta 2022.

Vjeran Magjarević, Lidija Srnec,  
Tanja Renko, Krunoslav Mikec

U Europi je ljeto 2022. bilo najtoplije otkad postoje mjerenja (1880. godina), a obilježili su ga toplinski valovi<sup>5</sup>. Prema Protokolu o postupanju i preporukama za zaštitu od vrućine Ministarstva zdravstva Republike Hrvatske upozorenja na toplinske valove koji mogu djelovati na zdravlje izdaju se od svibnja do kraja listopada. Preciznije definirano razdoblje određuje Državni hidrometeorološki zavod prije svake sezone na temelju stručne procjene opasnosti od toplinskih valova.

Iako prema prognoziranim minimalnim i maksimalnim temperaturama zraka tijekom 2022. upozorenja nisu izdavana sve do 23. lipnja te je prvo upozorenje izdano za 27. lipnja, prema mjerenim podacima mjestimice je i prije 27. lipnja bilo dana u kojima su kriteriji za umjerenu i veliku opasnost bili zadovoljeni (slika 5.4.1). Umjerena opasnost postojala je 4. i 5. lipnja na srednjem Jadranu, 14. i 17. lipnja u unutrašnjosti Dalmacije te 24. lipnja na sjevernom Jadranu. Velika opasnost postojala

high value of deep layer wind shear of about 20 m/s, and sufficient low-level moisture.

However, there was a problem in forecasting the severe convection in central Croatia due to almost no signal of clouds and precipitation in the model fields around the actual time of arrival of the convective system. Some models (e.g. Aladin 2 km) showed the probability of intensive precipitation along the border with Slovenia and over Croatia only around the middle of the night and especially in the second half of the night. We can therefore conclude that the model forecast of the convection was late, but also insufficiently pronounced.

The relatively inaccurate model forecast is also evident in too low CAPE values and in absence of precipitation over parts of Croatia, especially where cells from Slovenia continued to move during the night (Figure 5.3.12). On the other hand, the model proved quite reliable in case of Slovenia both in forecasting instabilities and in forecasting precipitation.

## 5.4 Heat waves in the summer of 2022

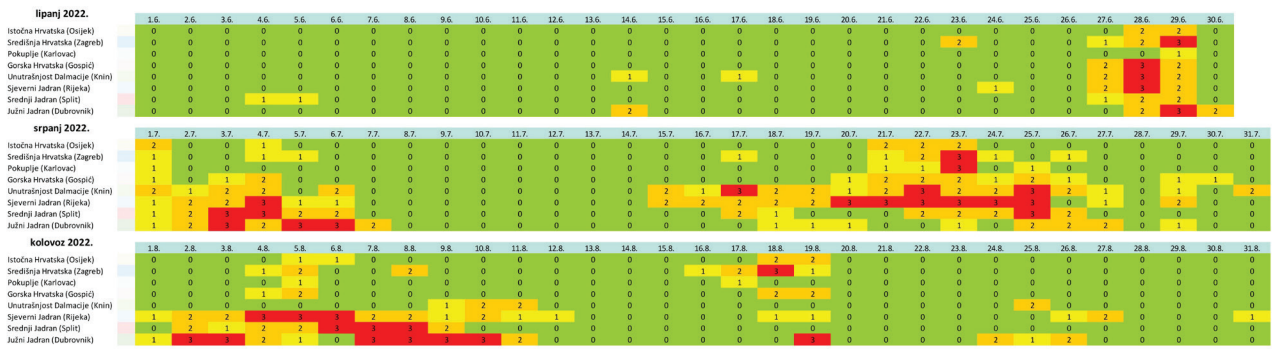
Vjeran Magjarević, Lidija Srnec,  
Tanja Renko, Krunoslav Mikec

The summer of 2022 was the hottest on record in Europe (since 1880), featuring multiple heat waves<sup>5</sup>. According to the Protocol of actions and the recommendations for protecting against heat, issued by the Croatian Ministry of Health, heat-health alerts are issued between May and October. The Croatian Meteorological and Hydrological Service (DHMZ) defines a more precise period based on its expert heat wave risk assessment.

Although alerts were not issued before 23 June, following the forecasted minimum and maximum air temperatures in 2022, and the first alert was issued for 27 June, measured data indicate that there were places where moderate and high risk criteria were met on certain days even before 27 June (Figure 5.4.1). Moderate risk was present on 4-5 June in the central Adriatic, on 14-17 June in interior Dalmatia, and on 24 June in the northern Adriatic. High risk was present on 14 June in the southern Adriatic and on 23 June in the Zagreb area (central Croatia). A fairly clear signal that the temperature conditions for issuing the alert (defined by minimum and/or maximum temperatures) will be met was observed on 23 June. The DHMZ issued the first moderate risk alerts for 27 June for the wider area of Zagreb, Karlovac and the entire coast four days in advance. Risk likelihood increased in the following days, causing a moderate risk alert to be issued for the whole country, except for its easternmost regions, for 27 June. Since the measured data confirm that alert criteria were met in most of the country on this day, the first heat wave in Croatia in 2022 can be considered to have begun on 27 June and to have lasted until 7 July. The heat wave, as expected, did not affect all areas with the same intensity and at the same time. Previous maximum air temperatures for June were exceeded at several stations: 35.8 °C was measured in Gos-

<sup>5</sup> Copernicus Climate Change Bulletin.

<sup>5</sup> Copernicus Climate Change Bulletin.



Slika 5.4.1. Toplinski valovi u razdoblju lipanj – kolovoz 2022. definirani prema mjerenim minimalnim i maksimalnim temperaturama zraka u osam regija Hrvatske.

Figure 5.4.1. Heat waves in the period June-August 2022, defined according to the measured minimum and maximum air temperatures in eight Croatian regions.

je 14. lipnja na južnom Jadranu i 23. lipnja na zagrebačkom području (središnja Hrvatska). Prilično jasan signal da će temperaturni kriteriji za izdavanje upozorenja (definirani minimalnom i/ili maksimalnom temperaturom zraka) biti zadovoljeni uočen je 23. lipnja, kada je DHMZ za četiri dana unaprijed, odnosno za 27. lipnja izdao prvo upozorenje za umjerenu opasnost u zagrebačkoj i karlovačkoj regiji te duž cijelog Jadrana. Sljedećih je dana vjerojatnost za upozorenja bila sve veća, zbog čega je upozorenje za umjerenu opasnost 27. lipnja izdano za cijelu Hrvatsku osim na krajnjem istoku. Budući da mjereni podaci potvrđuju da su kriteriji za izdavanje upozorenja toga dana bili zadovoljeni u većem dijelu zemlje, možemo reći da je prvi toplinski val u Hrvatskoj 2022. godine započeo 27. lipnja i trajao do 7. srpnja. Toplinski val, očekivano, nije jednakim intenzitetom i u istom trenutku zahvatio sva područja. Na nekoliko postaja premašene su dotadašnje maksimalne temperature zraka za lipanj: u Gospiću je izmjereno 35,8 °C, Pazinu 36,8 °C, Senju 37,6 °C, Rijeci 38,4 °C i u Kninu 40,4 °C.

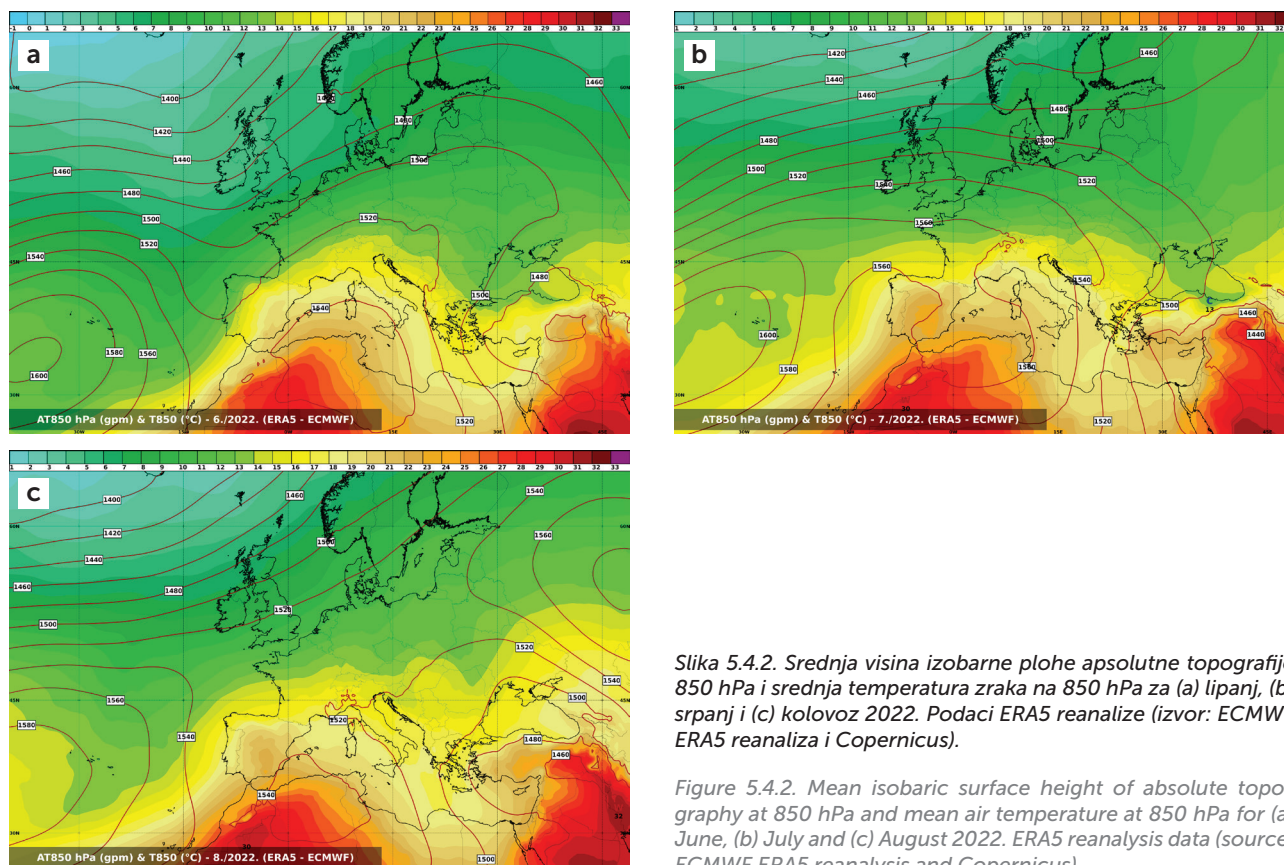
Iako su upozorenja prema prognozi bila izdana za 27. lipnja, na području južnog Jadrana temperature zraka koje zadovoljavaju kriterij za izdavanje upozorenja izmjerene su dan poslije, 28. lipnja, i bilježene su kontinuirano do 7. srpnja. Na području srednjeg i sjevernog Jadrana, u unutrašnjosti Dalmacije te gorskim predjelima i središnjoj Hrvatskoj, u skladu s prognoziranim upozorenjima, temperaturni kriteriji zadovoljeni su 27. lipnja. Opasnost od utjecaja visokih temperatura zraka na zdravlje kratko je prekinuta 30. lipnja posvuda osim na južnom Jadranu. Izuzev navedenog dana (30. lipnja), na području srednjeg i sjevernog Jadrana toplinski val trajao je do 6. srpnja, dok je u unutrašnjosti Dalmacije prekinut na jedan dan (5. srpnja). Iako su desetak dana nakon 27. lipnja temperature zraka i u unutrašnjosti zemlje bile visoke, kriteriji za umjerenu i veliku opasnost od utjecaja na zdravlje nisu bili zadovoljeni više od tri uzastopna dana, pa ovdje ne možemo govoriti o toplinskom valu. Analiza temperature zraka i prevladavajućeg strujanja na izobarnoj plohi AT 850 hPa koja se nalazi na visini od oko 1,5 km pokazuju da je ovaj toplinski val posljedica termobaričkog grebena s juga, odnosno jugozapada, koji je sa sobom nosio izrazito topao i uglavnom suh zrak s područja sjeverne Afrike (slika 5.4.2a). Utjecaj grebena trajao je gotovo cijelo razdoblje od 27. lipnja do

pić, 36,8 °C in Pazin, 37,6 °C in Senj, 38,4 °C in Rijeka, and 40,4 °C in Knin.

Even though the alerts were issued for 27 June based on the forecast, air temperatures meeting the alert criteria were measured in the southern Adriatic a day later, on 28 June, and persisted by 7 July. The temperature criteria were met on 27 June in the northern and central Adriatic, in the interior of Dalmatia, and in the mountainous and central part of Croatia, which is consistent with the forecasted alerts. Health risks associated with high air temperatures briefly ceased on 30 June in all areas except in the southern Adriatic. With the exception of 30 June, the heat wave lasted until 6 July in the central and northern Adriatic. It again briefly ceased in the interior of Dalmatia on 5 July. Although temperatures were high in continental Croatia for about ten days after 27 June, moderate and high health risk criteria were not met for more than three consecutive days, which means that there was no heat wave in this period. The analysis of the air temperature and prevailing flow on the AT 850 hPa isobaric surface, located at a height of about 1.5 km, shows that this heat wave was influenced by a thermobaric ridge from the south and southwest, which brought in extremely warm and mostly dry air from North Africa (Figure 5.4.2a). The influence of the ridge lasted almost throughout the period from 27 June to 6 July, with a minor amount of moist air reaching Croatia only sporadically. In the period between 6 July and 8 July, the heat wave subsided as a result of the advection of colder air over our regions, and a period of slightly more unstable weather followed. Moist and slightly fresher air occasionally came in on the rear side of the upper-level low.

Air temperatures that can pose a high risk to human health were recorded again on 15 July in the northern Adriatic and in the interior of Dalmatia (Figure 5.4.1). Sporadic alerts were issued in the next few days. Measurements showed that they were justified, and occasionally were slightly off the mark as well. Alerts were issued for all eight regions for 21 July in accordance with the forecasted minimum and maximum daily air temperatures. The measurements again confirmed the validity of the issued alerts, except in the central and southern Adriatic. Again, as expected, the heat wave did not affect all areas with the same intensity and at the same time. Northern Adriatic was at the greatest risk during this wave, with a continual health risk in the period 15-25 July, and the highest possible risk level





Slika 5.4.2. Srednja visina izobarne plohe apsolutne topografije 850 hPa i srednja temperatura zraka na 850 hPa za (a) lipanj, (b) srpanj i (c) kolovoz 2022. Podaci ERA5 reanalize (izvor: ECMWF ERA5 reanaliza i Copernicus).

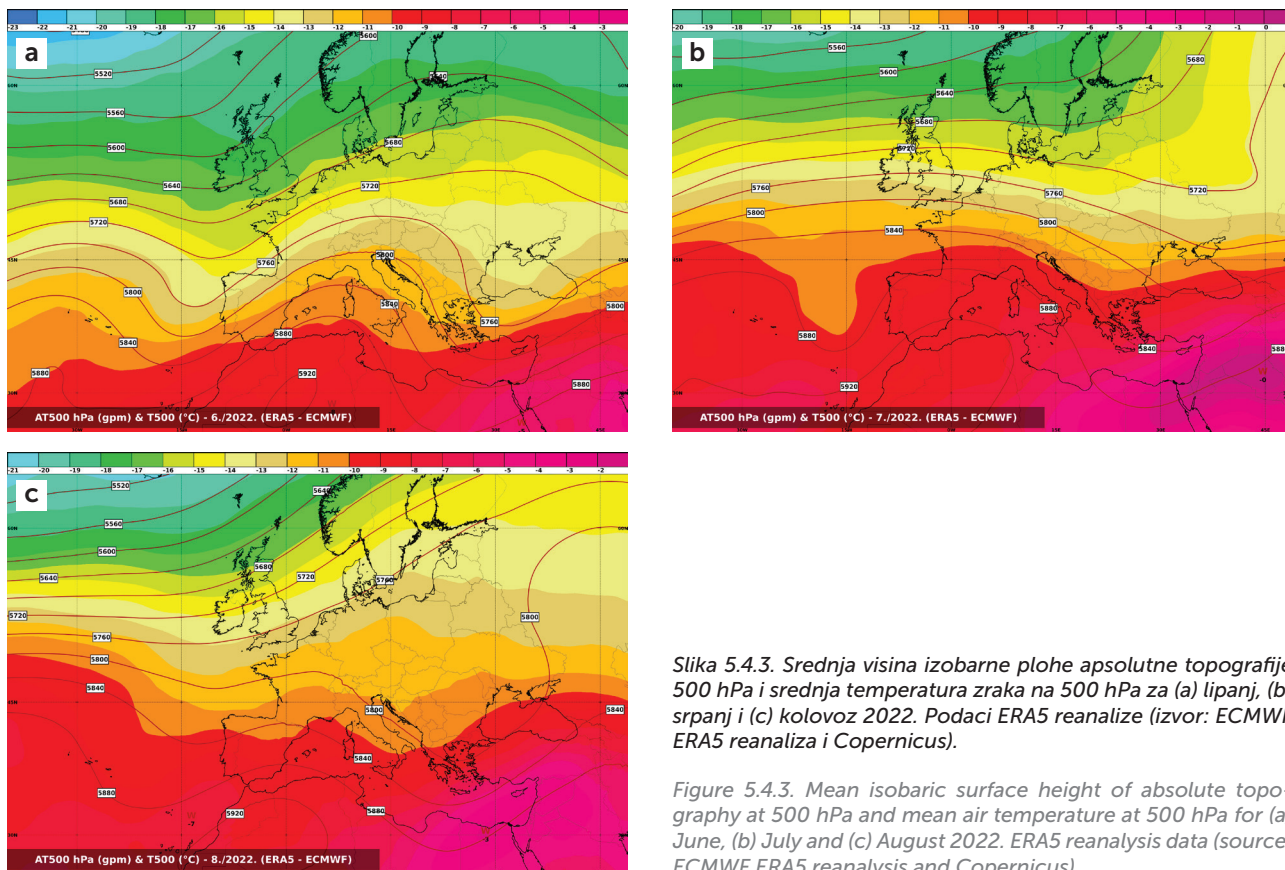
Figure 5.4.2. Mean isobaric surface height of absolute topography at 850 hPa and mean air temperature at 850 hPa for (a) June, (b) July and (c) August 2022. ERA5 reanalysis data (source: ECMWF ERA5 reanalysis and Copernicus).

6. srpnja te je do Hrvatske tek povremeno stizala manja količina vlažnijeg zraka. Između 6. i 8. srpnja s premještanjem hladnijeg zraka preko naših krajeva toplinski je val popustio te je uslijedilo malo promjenljivije razdoblje. Naime, na stražnjoj strani visinske ciklone povremeno je stizao vlažniji te malo svježiji zrak.

Temperature zraka koje mogu biti vrlo opasne za zdravlje ljudi ponovo su zabilježene 15. srpnja na sjevernom Jadranu i u unutrašnjosti Dalmacije (slika 5.4.1). U sljedećih nekoliko dana izdavana su sporadična upozorenja, čiju su opravdanost, a katkad i nedostatnost potvrdila mjerenja. U skladu s prognozama minimalnih i maksimalnih dnevnih temperatura zraka za 21. srpnja izdana su upozorenja za svih osam regija, a mjerenja su ponovno potvrdila njihovu opravdanost. Iznimka je bilo područje srednjeg i južnog Jadrana. Ponovno očekivano, toplinski val nije jednakim intenzitetom i u istom trenutku zahvatio sva područja. U ovom valu najugroženije je bilo područje sjevernog Jadrana, gdje je opasnost za zdravlje trajala kontinuirano od 15. do 25. srpnja – od 20. do 25. srpnja uz najvišu razinu opasnosti. U drugoj polovini srpnja u Delnicama je izmjereno 33,5 °C, a duž obale noći su bile posebno neugodne zbog fenskog efekta burina koji puše u stabilnim situacijama. Razlog drugom toplinskom valu bila je vrućina iz zapadne Europe, posebno s područja zapadnog Sredozemlja. Prodori malo vlažnijeg i manje toplog zraka u tom razdoblju uglavnom nisu zahvaćali područje Jadrana. Srednje stanje atmosfere na 500 hPa upućivalo je na manju zastupljenost izraženog grebena zbog povremenih prodora sa sjeverozapada, no temperatura zraka na toj visini bila je viša nego u lipnju (slika 5.4.3b). Od 28. do 31. srpnja kriterij za izdavanje upozorenja na toplinske valove koji mogu utjecati na

in the period 20–25 July. In the second half of July, 33.5 °C was measured in Delnice, and the nights were particularly unpleasant at the coast due to the phoen effect of burin wind (usually present in stable situations). The second heat wave was caused by heat coming in from western Europe, especially from the western Mediterranean area. Penetrations of somewhat wetter and less warm air generally did not affect the Adriatic area in this period. The mean state of the atmosphere at 500 hPa indicated a minor presence of a pronounced ridge due to occasional breaches of colder and moister air from the northwest, but the air temperature at this level was higher than in June (Figure 5.4.3b). Between 28 and 31 July, the criteria for issuing heat-health alerts were sporadically met, and were accordingly forecast beforehand.

Although the next alerts were issued for 3 August for the Adriatic area and a day or two later for the rest of the country (depending on the number of days forecast in advance), the measured temperatures showed that the third heat wave affected the Adriatic area in the period 1–11/12 August. During this period, a very high health risk was forecast for 5, 6, and 7 August, and was registered as early as on 2–3 August and 7–10 August in the southern Adriatic, 4–6 August in the northern Adriatic, and 6–8 August in the central Adriatic. Particularly high night-time air temperatures along the Adriatic Sea, caused by relatively high sea temperatures and the phoen effect of bura wind, created the conditions for the formation of this heat wave. The nights were uncomfortably warm, as confirmed by the air temperature that did not drop below 29.7 °C in Dubrovnik on 9 August. The third wave was interrupted mostly due to the synoptic situation in upper levels. The influence of the thermobaric ridge was not as pronounced as in July (Figures



Slika 5.4.3. Srednja visina izobarne plohe apsolutne topografije 500 hPa i srednja temperatura zraka na 500 hPa za (a) lipanj, (b) srpanj i (c) kolovoz 2022. Podaci ERA5 reanalize (izvor: ECMWF ERA5 reanaliza i Copernicus).

Figure 5.4.3. Mean isobaric surface height of absolute topography at 500 hPa and mean air temperature at 500 hPa for (a) June, (b) July and (c) August 2022. ERA5 reanalysis data (source: ECMWF ERA5 reanalysis and Copernicus).

zdravlje ljudi bio je sporadično zadovoljen, a u skladu s tim prethodno i prognozirano.

Iako su prva sljedeća upozorenja za područje Jadrana izdana za 3. kolovoza, a za ostatak zemlje dan ili dva (ovisno o broju prognoziranih dana unaprijed) poslije, izmjerene temperature pokazale su da je treći toplinski val područje Jadrana zahvatio od 1. do 11., tj. 12. kolovoza. U tom razdoblju vrlo velika opasnost od utjecaja na zdravlje prognozirana je za 5., 6. i 7. kolovoza, a zabilježena je već 2. i 3. te od 7. do 10. kolovoza na južnom Jadranu, od 4. do 6. kolovoza na sjevernom dijelu i od 6. do 8. kolovoza na području srednjeg Jadrana. Osobito visoke noćne temperature zraka uz Jadran, kao posljedica razmjerno toplog mora i fenskog efekta bure, označile su uvjete za stvaranje tog toplinskog vala. Noći su bile neugodno tople, što potvrđuje temperatura zraka koja se u Dubrovniku 9. kolovoza nije spustila ispod 29,7 °C. Na prekid trećeg vala ponajviše je utjecala visinska sinoptička situacija. Naime, utjecaj termobaričkog grebena nije bio toliko izražen kao u srpnju (slike 5.4.2c i 5.4.3c), a posebno u lipnju, nego je tim dijelom Europe dominirala visinska ciklona u razdoblju od 10. do 15. kolovoza, nakon čega se i dalje preko Hrvatske protezala dolina ili je u jugozapadnoj struji stizao vlažniji i nestabilniji zrak. Ovaj toplinski val slabije je, i prema prognozama i prema mjerenim podacima, zahvatio unutrašnjost zemlje.

Posljedica jačanja utjecaja grebena 17. kolovoza uzrok je četvrtom toplinskom valu koji je trajao vrlo kratko, a najviše se osjetio u središnjoj Hrvatskoj. Upozorenja uglavnom za umjerenu opasnost, temeljena na prognozama maksimalnih i minimalnih temperatura zra-

5.4.2c and 5.4.3c), and especially in June. Rather, this part of Europe was dominated by an upper-level low in the period 10-15 August, after which the trough continued to extend across Croatia, or moister and more unstable air arrived in the southwest flow. The interior of the country was less affected by this heat wave, both according to forecasts and to measured data.

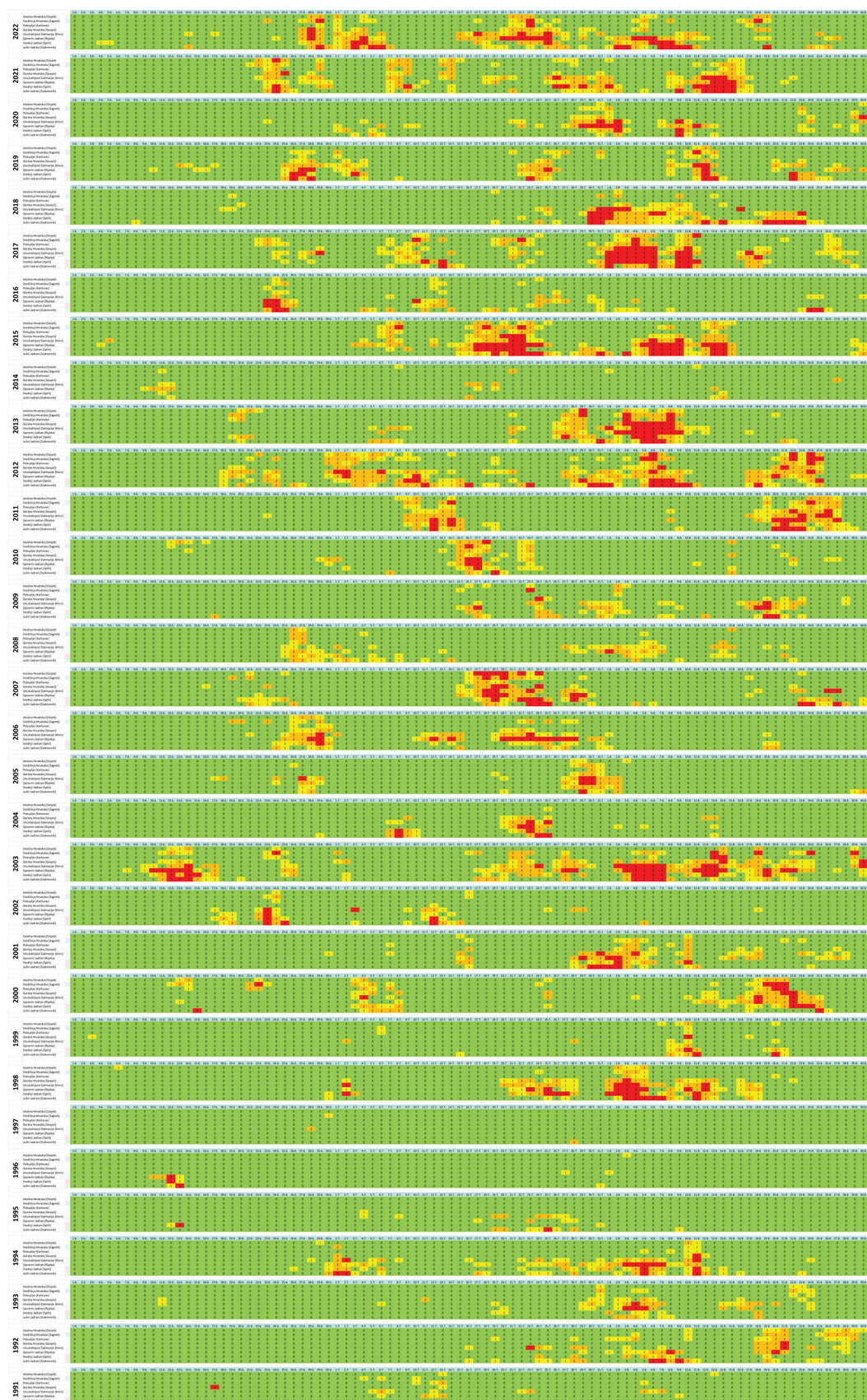
The strengthening of the ridge on 17 August resulted in the fourth heat wave, which lasted very briefly and was mostly felt in central Croatia. Alerts (mostly moderate-risk) were issued for a total of three days (17-19 August) based on forecasts of maximum and minimum air temperatures. The measurements showed that heat-related health risks were present on 16 August in central Croatia, on 17 August in central Croatia and in Pokuplje, and on 18-19 August in the wider Croatian territory, but not in all regions. The danger ended in the night between 18 August and 19 August, as a more pronounced trough moved in from the west.

No more heat-health alerts were issued after 19 August, even though air temperatures consistent with the alert criteria were measured 24-26 August in the southern Adriatic, on 25 August in the interior of Dalmatia, and on 26, 27 and 31 August in the northern Adriatic.

Rijeka area had the highest number of heat-related health risk days in 2022 (Figure 5.4.1), a total of 40. Of these, 13 were moderate risk days, 16 were high risk days, and 11 were very high-risk days. Karlovac area had the lowest number of risk days, a total of eight (seven moderate risk days and one very high risk day).

The total number of heat-related health risk days (regardless of the risk level) varies spatially and temporally within one year (Figure 5.4.4). The total number of alerts

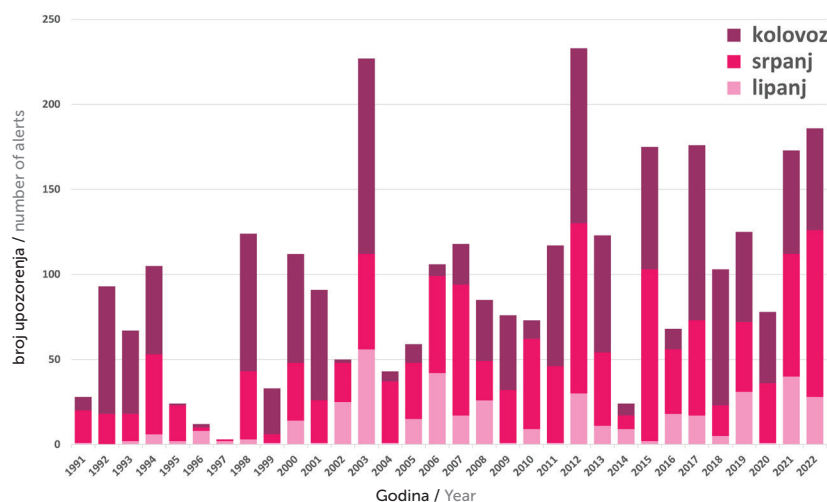




Slika 5.4.4. Prognozirane opasnosti od djelovanja toplinskog vala na zdravlje ljudi (zeleno – nema opasnosti, žuto – umjerena opasnost, narančasto – velika opasnost, crveno – vrlo velika opasnost) za razdoblje 1. lipnja – 31. kolovoza od 1991. do 2022. godine.

Figure 5.4.4. Forecasted heat health risks (green – no risk, yellow – moderate risk, orange – high risk, red – very high risk) for the period 1 June–31 August, 1991–2022.





Slika 5.4.5. Ukupan broj upozorenja na opasnost od djelovanja toplinskog vala na zdravlje ljudi izdanih u osam regija Hrvatske za razdoblje 1991. – 2022.

Figure 5.4.5. Total number of heat-health alerts issued in eight Croatian regions for the period 1991-2022.

ka, izdana su za ukupno tri dana (17. – 19. 8.). Mjerenja su pokazala da je opasnost od utjecaja toplinskih valova na zdravlje postojala 16. kolovoza u središnjoj Hrvatskoj, 17. kolovoza u središnjoj Hrvatskoj i na području Pokuplja te 18. i 19. kolovoza na širem području Republike Hrvatske, no ne u svim regijama. S premještanjem izraženije doline sa zapada opasnost je prekinuta u noći s 18. na 19. kolovoza.

Upozorenja na opasnost od utjecaja toplinskih valova na zdravlje nakon 19. kolovoza nisu bila izdavana iako su između 24. i 26. kolovoza na južnom Jadranu, 25. kolovoza u unutrašnjosti Dalmacije, a 26., 27. i 31. kolovoza na sjevernom Jadranu mjerenjem zabilježene temperature zraka koje zadovoljavaju kriterij za izdavanje upozorenja.

Najveći broj dana s opasnošću za zdravlje u 2022. godini (slika 5.4.1) bio je na riječkom području, ukupno 40, pri čemu je 13 dana opasnost od utjecaja na zdravlje bila umjerena, 16 dana velika, a 11 vrlo velika. Najmanji broj dana s opasnošću bio je na karlovačkom području, ukupno 8 (7 s umjerenom opasnošću i 1 dan s vrlo velikom).

Ukupan broj dana tijekom kojih postoji opasnost od djelovanja toplinskog vala na zdravlje ljudi (neovisno o razini opasnosti) u jednoj godini varira prostorno i vremenski (slika 5.4.4), stoga se razlikuje i ukupan broj upozorenja u svih osam regija zajedno (slika 5.4.5). Promotrimo li trend za razdoblje 1991. – 2022., uočava se porast od 2,8 upozorenja godišnje. U navedenom razdoblju (1991. – 2022.) najmanji ukupan broj upozorenja na opasnost od djelovanja toplinskog vala na zdravlje ljudi zabilježen je 1997. godine – tri upozorenja, jedna velika opasnost na području južnog Jadrana i unutrašnjosti Dalmacije te jedna umjerena opasnost u središnjoj Hrvatskoj. U istom razdoblju najveći broj upozorenja na opasnost od djelovanja toplinskog vala na zdravlje ljudi zabilježen je 2012. (233 upozorenja) i 2003. godine (227 upozorenja izdano je u svih osam regija). Po ukupnom broju izdanih upozorenja 2022. godina zauzima treće mjesto sa 186 izdanih upozorenja.

issued in all eight regions combined varies accordingly (Figure 5.4.5). Taking a look at the 1991-2022 trend, the number of alerts increased by 2.8 per year. In this period (1991-2022), the lowest total number of heat-health alerts was recorded in 1997 (a total of three, including one high-risk alert for the southern Adriatic and the interior of Dalmatia, and one moderate-risk alert for central Croatia). In the same period, the highest number of heat-health alerts was recorded in 2012 (a total of 233) and in 2003 (227 alerts issued in all eight regions in total). The third highest number of alerts (186) was issued in 2022.

## 5.5 Thunderstorm in Bjelovar-Bilogora County on 15 September 2022

Petra Mikuš Jurković, Tanja Renko, Lovro Kalin, Tomislav Kozarić

Severe thunderstorm accompanied by gale and possibly hurricane-force wind gusts, judging by eyewitness footages, along with heavy rain showers and localized heavy hail, hit the Bjelovar-Bilogora County in the central part of Croatia in the afternoon hours of 15 September 2022. The area between the city of Čazma and the settlement of Bosiljevo, and Berek and Grubišno Polje was the most severely affected.

The observer at the Čazma climatological station listed the following atmospheric phenomena in the observation diary for that day: rain, shower, hail, thunder and gale force wind. A new daily precipitation record was also set for the Čazma station since the beginning of measurement in 1981, with 109.6 mm of precipitation (litres per square meter) having fallen between 7:00 am on 15 September and 7:00 am on 16 September.

Two days prior, on 13 September 2022, the Croatian Meteorological and Hydrological Service (DHMZ) had issued a yellow thunderstorm warning for the so-called *Zagreb region* (which also includes the Bjelovar-Bilogora County) on the METEOALARM platform and the DHMZ website, as well as to the National Civil Protection Author-

## 5.5 Grmljavinsko nevrijeme u Bjelovarsko-bilogorskoj županiji 15. rujna 2022.

Petra Mikuš Jurković, Tanja Renko, Lovro Kalin, Tomislav Kozarić

Izraženo nevrijeme praćeno olujnim, prema snimkama očevidaca moguće i orkanskim vjetrom, intenzivnim pljuskom, lokalno i tučom, zahvatilo je Bjelovarsko-bilogorsku županiju 15. rujna u poslijepodnevним satima, a najžešće je pogođeno područje od Čazme i naselja Bosiljevo do Bereka i Grubišnog Polja.

Motritelj na klimatološkoj postaji Čazma u dnevnik motrenja za taj dan naveo je sljedeće atmosferske pojave: kišu, pljusak kiše, tuču, grmljavinu, sijevanje i olujni vjetar. Postavljen je i novi rekord dnevne količine oborine za postaju Čazma od početka mjerenja 1981. godine, s 109,6 mm oborine (litre po četvornom metru) koja je pala od 7.00 h 15. rujna do 7.00 h 16. rujna.

Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) već je dva dana ranije (13. rujna 2022.) putem platforme METEOALARM te na mrežnoj stranici DHMZ-a kao i za potrebe Ravnateljstva civilne zaštite izdao žuto upozorenje na grmljavinsko nevrijeme u tzv. *regiji Zagreb* (područje u kojem je i Bjelovarsko-bilogorska županija) te regijama Gospić, Karlovac, Rijeka, Knin i Split. Tijekom 15. rujna 2022. stupanj upozorenja za regiju Zagreb podignut je na višu razinu, odnosno izdano je narančasto upozorenje za grmljavinsko nevrijeme jer su prepoznati vrlo povoljni atmosferski uvjeti za nastanak intenzivnih grmljavinskih oblaka. Osim toga DHMZ je na temelju dostupnih prognostičkih materijala već u ponedjeljak, 12. rujna izdao posebno priopćenje<sup>6</sup> i ranu najavu izrazite promjene vremena te mogućnosti nevremena 15. rujna.

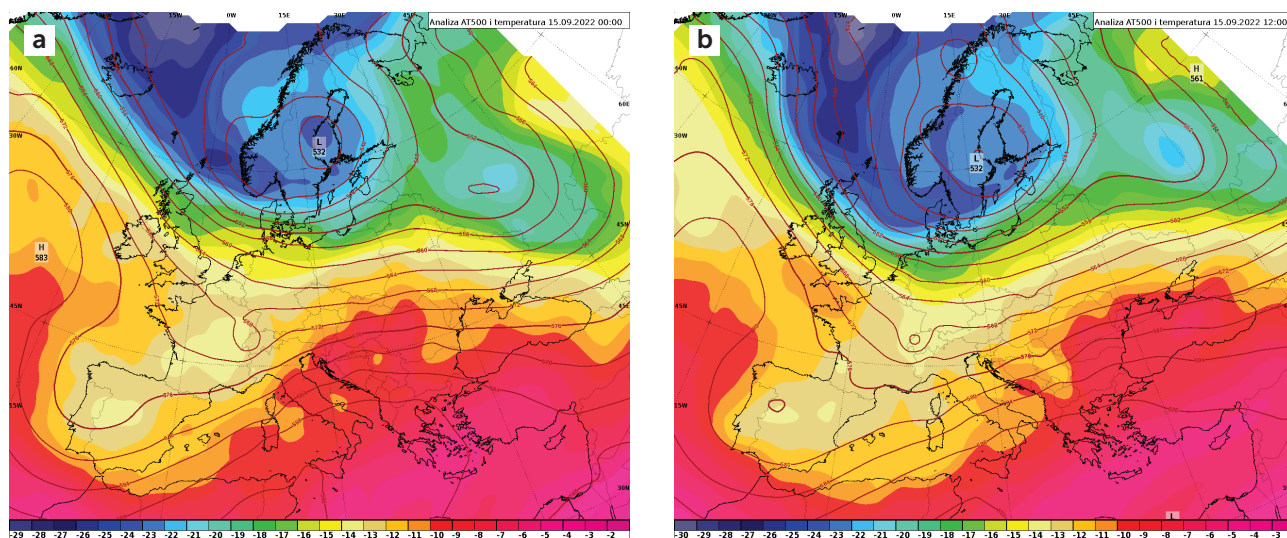
ity. A yellow warning for thunderstorms for the same day was also issued for the regions of Gospić, Karlovac, Rijeka, Knin and Split. Further on, the favourable atmospheric conditions conducive to the formation of a very intense deep moist convection were recognized on 15 September, the awareness level for the Zagreb region was raised to a higher level, and an orange warning for thunderstorm was issued. In addition, acting on the available prognostic fields, the DHMZ issued a special early announcement<sup>6</sup> about the possibility of intense thunderstorms for 15 September as early as on Monday, 12 September.

### Synoptic analysis

After a short period of stable weather and above-average temperatures, on Thursday, 15 September, the elevated geopotential ridge in the upper layers of the atmosphere that was responsible for stable weather above Croatia weakened, and the southwesterly flow bringing moist air to our regions was getting stronger (Figures 5.5.1a and 5.5.1b).

During the morning and mid-day, the surface pressure was gradually decreasing, and the cold front, which was connected to a deep cyclone over northern Europe, approached the northern parts of Croatia (Figure 5.5.2). This frontal system clearly separated the very warm air mass over Croatia and southeast Europe from the cold air mass over northern Europe and parts of central Europe (Figure 5.5.3). Consequently, colder air flowed onto a very heated surface in the higher layers of the atmosphere, which increased the instability of the atmosphere (Table 5.5.1).

<sup>6</sup> [https://meteo.hr/objave\\_najave\\_natjecaji.php?section=onn&param=objave&el=priopcenja&daj=pr12092022](https://meteo.hr/objave_najave_natjecaji.php?section=onn&param=objave&el=priopcenja&daj=pr12092022)



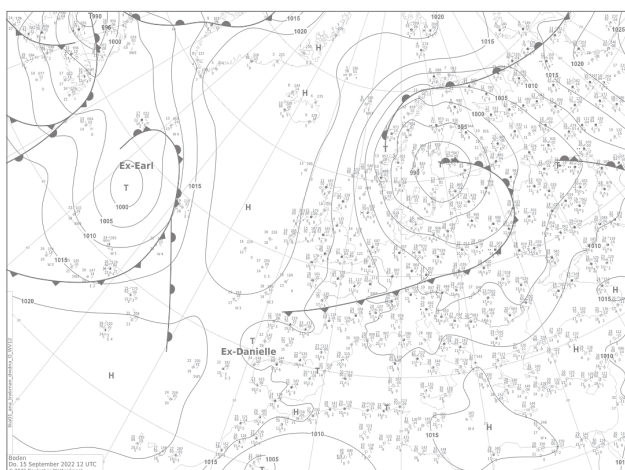
Slika 5.5.1. Sinoptička analiza geopotencijalne visine (gpdam, izolinije) apsolutne topografije izobarne plohe 500 hPa (skraćeno AT500 hPa) i temperature zraka (°C, obojeno) na izobarnoj plohi 500 hPa (oko 5600 m visine) 15. rujna 2022. u: a) 00:00 UTC (2:00 sata po lokalnom vremenu) i b) 12:00 UTC (14:00 sati po lokalnom vremenu).

Figure 5.5.1. Synoptic analysis of the geopotential height (gpdam, isolines) of the absolute topography of the 500 hPa isobaric surface (abbreviated: AT 500 hPa) and air temperature (°C, colours) at the 500 hPa isobaric surface (around 5600 m) on 15 September 2022 at: a) 00:00 UTC (2:00 am local time) and b) 12:00 UTC (2:00 pm local time).

### Sinoptička analiza

Nakon kraćeg stabilnog razdoblja iznadprosječne topline u četvrtak, 15. rujna slabi greben povišenog geopotencijala u višim slojevima atmosfere koji je osiguravao stabilne vremenske prilike nad Hrvatskom te sve više jača jugozapadno strujanje s kojim u naše predjele dolazi vlažan zrak (slike 5.5.1a i 5.5.1b).

U prizemnom sloju tijekom prijepodneva i sredine dana tlak zraka je u postupnom padu, a hladna fronta koja je povezana s dubokom ciklonom nad sjevernom Europom približava se sjevernijim predjelima Hrvatske (slika 5.5.2). Spomenuti frontalni sustav jasno je razdvajao vrlo toplu zračnu masu nad Hrvatskom i jugoistočnom Europom od hladne zračne mase nad sjevernom i dijelom središnje Europe (slika 5.5.3). Posljedično, u višim slojevima atmosfere hladniji zrak priteče na vrlo zagrijanu površinu, zbog čega raste nestabilnost atmosfere (tablica 5.5.1).



Slika 5.5.2. Analiza prizemne sinoptičke situacije 15. rujna 2022. u 12:00 UTC (14:00 sati po lokalnom vremenu). Izvor: DWD.

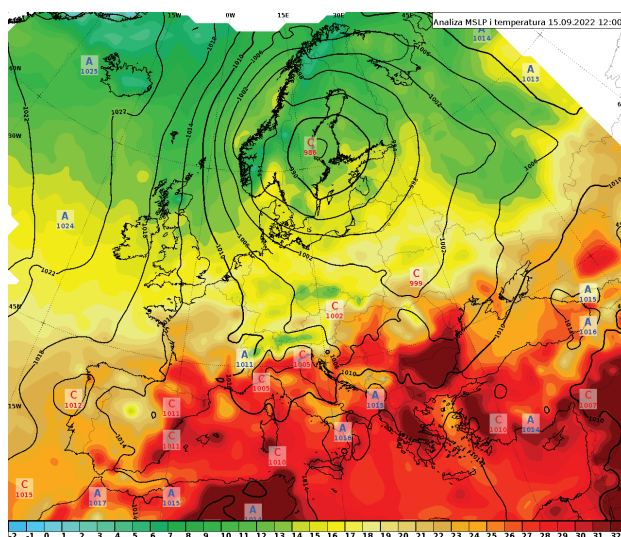
Figure 5.5.2. Surface analysis of the air pressure field and synoptic systems on 15 September 2022 at 12:00 UTC (2:00 pm local time). Source: DWD.

### Mesoscale analysis

Three elements are necessary for the initiation of a deep moist convection: moisture in the lower layers of the troposphere, conditional instability, and a lifting mechanism to lift parcels to the level of free convection.

It was very warm around noon over central Croatia, including the Bjelovar-Bilogora County, with air temperature between 25 °C and 27 °C. The dew point temperature was between 16 °C and 18 °C, which is indicative of a considerable amount of moisture in the surface layer, meaning that one of conditions for the development of convective cells was met.

The radio sounding measurement performed at the Zagreb-Maksimir station also reflected the conditions in



Slika 5.5.3. Sinoptička analiza tlaka zraka svedenog na razinu mora (hPa) i temperature zraka na dva metra visine 15. rujna 2022. u 12:00 UTC (14:00 sati po lokalnom vremenu).

Figure 5.5.3. Synoptic analysis of air pressure reduced to sea level (MSLP, hPa) and air temperature at the height of 2 m, 15 September 2022 at 12:00 UTC (2:00 pm local time).

Tablica 5.5.1. Temperatura zraka (T [°C]) s radiosondažnih mjerenja 14. rujna 2022. u 12:00 UTC 15. rujna 2022. u 00:00 i 12:00 UTC i 16. rujna 2022. u 00:00 UTC na izobarnim plohama 925, 850, 700 i 500 hPa te temperatura zraka na dva metra visine iz SYNOP mjerenja na postaji Zagreb-Maksimir.

Table 5.5.1. Air temperature (T [°C]) from radio sounding measurements on 14 September 2022 at 12:00 UTC, 15 September 2022 at 00:00 and 12:00 UTC, and 16 September 2022 at 00:00 UTC on isobaric surfaces of 925, 850, 700 and 500 hPa, and air temperature at the height of 2 m from SYNOP measurements in Zagreb-Maksimir.

Nivo	Temperatura zraka (°C)			
	14. rujna, 12 UTC	15. rujna, 00 UTC	15. rujna, 12 UTC	16. rujna, 00 UTC
500 hPa	-9,7	-8,1	-11,7	-12,9
700 hPa	8,6	5,0	4,6	2,2
850 hPa	13,6	15,4	14,0	13,2
925 hPa	18,8	20,2	19,6	17,6
2 m	26,1	22,0	20,0	18,7



### Mezoskalna analiza

Za nastanak tzv. duboke vlažne konvekcije nužna su tri elementa: vlaga u nižim slojevima troposfere, uvjetna nestabilnost i mehanizam podizanja česti zraka na nivo slobodne konvekcije.

Sredinom dana nad područjem središnje Hrvatske, pa i Bjelovarsko-bilogorske županije, bilo je iznadprosječno toplo uz temperaturu zraka 25 – 27 °C. Temperatura rosišta bila je 16 – 18 °C, što upućuje na znatnu količinu vlage u prizemnom sloju, čime je ispunjen jedan od uvjeta za nastanak konvektivnih čelija.

Visinsko radiosondažno mjerenje obavljeno je na postaji Zagreb-Maksimir, koja je reprezentativna i za područje Bjelovarsko-bilogorske županije. Iz njega je procijenjena konvektivna raspoloživa potencijalna energija (CAPE) najnestabilnije česti (MUCAPE) iznosila 888 J/kg, što upućuje na izrazito nestabilnu atmosferu (slika 5.5.4).

Dodatno, za nastanak organizirane konvekcije i superčelija koje karakterizira rotacija uzlazne struje potrebno je i izraženo smicanje vjetera u debljem sloju, između tla i 6 km visine. Ono je prema radiosondažnom mjerenju iznosilo oko 24,5 m/s, što su karakteristične vrijednosti za okolinu gdje nastaju superčelije (slika 5.5.4). Treba istaknuti da je smicanje vjetera glavninom bilo koncentrirano u nižim slojevima troposfere, od tla do 3 km, a značajno je bilo i u sloju od tla do 1 km, što pogoduje nastanku tornada. Zaključno, svi elementi za izraženu i organiziranu konvekciju bili su ispunjeni.

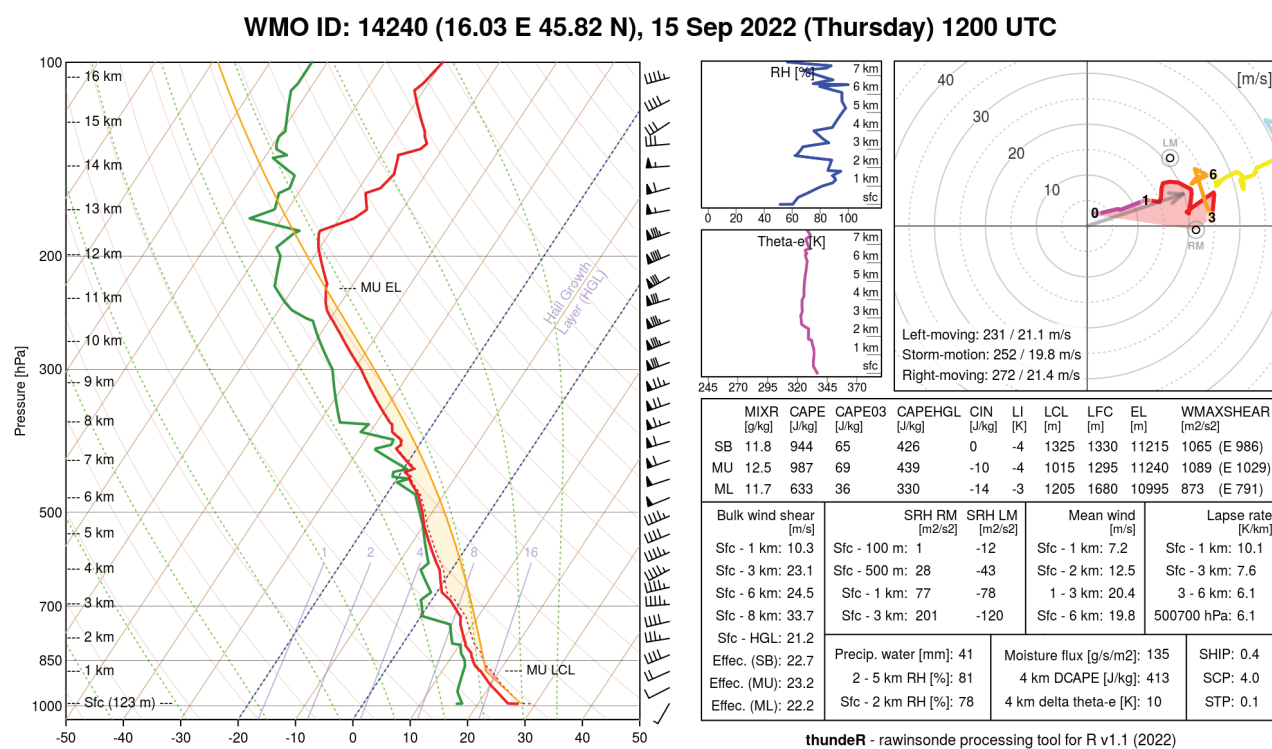
the Bjelovar-Bilogora County. The estimated most unstable convective available potential energy (MUCAPE) was 888 J/kg, indicating a very unstable atmosphere (Figure 5.5.4).

Additionally, the formation of organized convections and supercells characterized by updraft rotation requires strong wind shear in the deep layer, between the ground and the height of 6 km. Radio sounding measurement showed a wind shear of about 24.5 m/s, which is characteristic of an environment where supercells tend to be formed (Figure 5.5.4). It should be noted that wind shear was mainly concentrated in the lower layers of the troposphere, between the surface and 3 km, and was also strong in the layer between the surface and 1 km, which is conducive to the formation of tornadoes. In conclusion, all the elements for a strong and organized convection were fulfilled.

An intense convective cell was initiated in the Zagreb County, but it reached its maximum intensity in the Bjelovar-Bilogora County, after which it weakened and moved over the Virovitica-Podravina County, and finally dissipated in the Osijek-Baranja County.

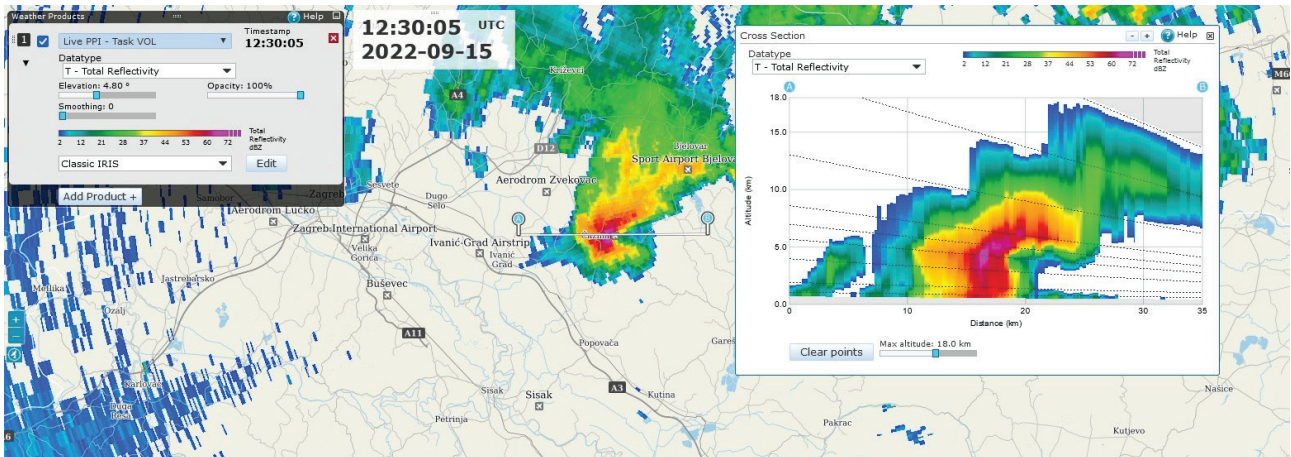
Radar reflections (Figure 5.5.5) confirm the presence of a supercell over the wider area of Čazma, and since reflectivity was higher than 60 dBZ, there was a high probability of the occurrence of hail at the ground (Figure 5.5.6).

According to the radar analysis of the deep convection, the strongest wind gusts are expected in areas with the highest reflectivity gradients, or with visible so-called bow apexes, which indicate the existence of a rear inflow. Such a radar reflectivity structure was clearly visible over Čazma at the moment of the thunderstorm, which is indic-



Slika 5.5.4. Visinsko radiosondažno mjerenje (termodijagram) s postaje Zagreb-Maksimir 15. rujna 2022. u 12:00 UTC (14:00 sati po lokalnom vremenu).

Figure 5.5.4. Radio sounding measurement (thermo-diagram) in Zagreb-Maksimir, 15 September 2022 at 12:00 UTC (2:00 pm local time).



Slika 5.5.5. Radarska odražajnost i vertikalni presjek konvektivne ćelije nad Čazmom 15. rujna 2022. u 12:30 UTC (14:30 sati po lokalnom vremenu).

Figure 5.5.5. Radar reflectivity and vertical cross-section of the convective cell over Čazma on 15 September 2022 at 12:30 UTC (2:30 pm local time).

Intenzivna konvektivna ćelija nastala je na području Zagrebačke županije, no u Bjelovarsko-bilogorskoj bila je najintenzivnija. Potom je slabijim intenzitetom pogodila i područje Virovitičko-podravske županije te se na kraju raspala u Osječko-baranjskoj županiji.

Radarski odrazi (slike 5.5.5) potvrđuju prisutnost superćelije nad širim područjem Čazme, a budući da je odražajnost bila veća od 60 dBZ-a, velika je bila i vjerojatnost pojave tuče pri tlu (slika 5.5.6).

Prema radarskoj analizi duboke konvekcije najjači udari vjetra očekuju su na područjima gdje su najveći gradijenti odražajnosti, odnosno ondje gdje su vidljive izbočine na radarskom odrazu (tzv. *bow apex*), što ukazuje na postojanje stražnje ulazne struje. Takav radarski odraz jasno je vidljiv u trenutku grmljavinskog nevremena nad Čazmom, što upućuje na postojanje oluje s olujnim udarima vjetra (slika 5.5.5).

### Satelitske slike i munje

Satelitske karakteristike vrhova konvektivnih oblaka odgovarale su intenzivnoj konvektivnoj ćeliji koja ima pojačan potencijal za razvoj opasnih vremenskih pojava na tlu. Na tzv. sandwich produktu vidljivi su vrlo hladni vrhovi konvektivnih oblaka, temperature od oko 200 K (tamnocrveno na slici 5.5.7), što znači da je oblak sezao sve do nivoa tropopauze (prema radiosondažnim podacima na oko 12,5 km). U takvim oblacima vertikalnog razvoja koji se protežu kroz gotovo cijelu troposferu i imaju hladne vrhove vrlo su jaka uzlazna strujanja. Izravno obilježje jake uzlazne struje jest i pojava strukture nalik na kupolu iznad nakovnja konvektivnog oblaka (engl. *overshooting top*) koja je vidljiva u nekoliko termina na HRV satelitskoj snimci.

Još jedan dokaz intenzivne konvekcije jest i prisutnost nekoliko žučkastih piksela na Convective Storm RGB produktu (slika 5.5.8). Žučkaste boje upućuju na postojanje sitnih kristala leda koji se na vrhovima konvektivnih oblaka pojavljuju uslijed postojanja jake uzlazne struje.

ative of the existence of a storm accompanied by gale force wind gusts (Figure 5.5.5).

### Satellite images and lightning data

The satellite characteristics of the tops of analysed convective clouds indicated an intense convection development with an increased potential for the development of severe weather phenomena on the ground. The very cold tops of convective clouds are visible on the so-called sandwich product, with temperatures around 200 K (dark red in Figure 5.5.7), which means that the cloud reached up to tropopause level (as indicated by radio sounding data at about 12.5 km). Such vertical development clouds with cold cloud tops extending almost through the entire troposphere and are characterized by very strong updraft. A dome-shaped structure above the anvil of the convective cloud, known as an overshooting top, is a direct characteristic of very strong updrafts, and it is visible on the HRV satellite image in several time slots.

The presence of several yellowish pixels on the Convective Storm RGB product (Figure 5.5.8) provides another satellite proof of intense convection. Yellowish colours indicate the existence of tiny ice crystals that appear on the tops of convective clouds due to very strong updraft.

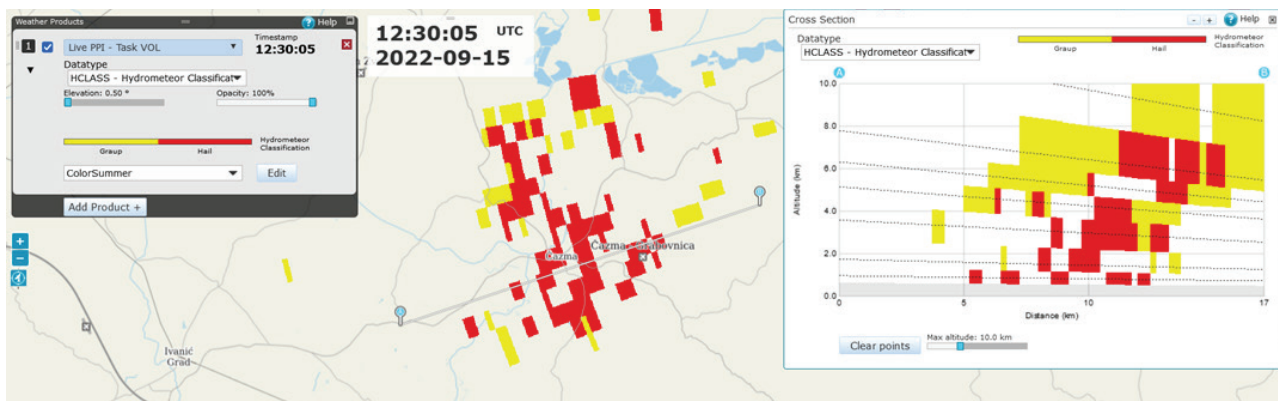
Very strong lightning activity was also recorded on the afternoon over the area of Bjelovar-Bilogora County, with about 4,000 registered lightnings (Figure 5.5.9), which were the result of an intense convective supercell. A significant number of lightnings was also detected above the height of 10 km, which also points to a very strong updraft.

### Conclusion

Detailed analysis of the available prognostic materials indicates that all synoptic and mesoscale conditions were met for the formation of locally intense convective storms over the Bjelovar-Bilogora County.

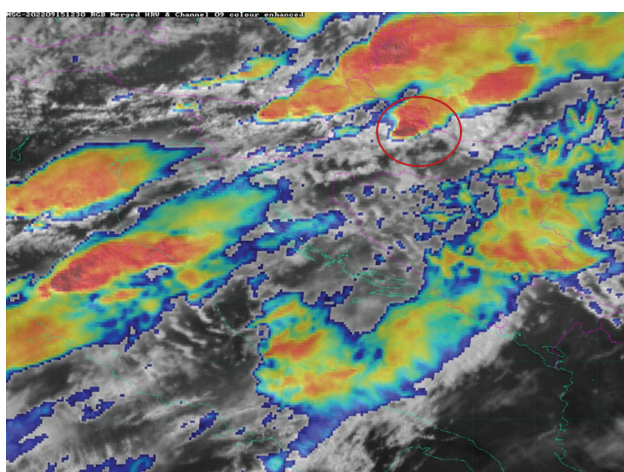
Radio sounding measurements indicate that the atmosphere was very unstable, and wind shear was very





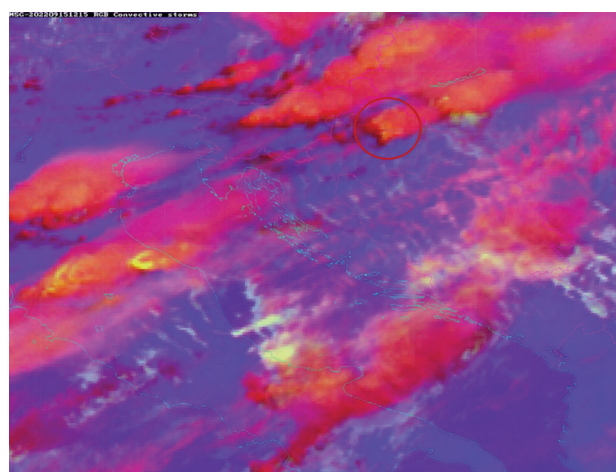
Slika 5.5.6. Radarski produkt klasifikacije hidrometeora s vertikalnim presjekom iznad Čazme 15. rujna 2022. u 12:30 UTC (14:30 sati po lokalnom vremenu). Crveno označava pojavu tuče.

Figure 5.5.6. Radar product of hydrometeor classification with a vertical cross-section above Čazma on 15 September 2022 at 12:30 UTC (2:30 pm local time). Red colour indicates the occurrence of hail.



Slika 5.5.7. Sandwich produkt – satelitska snimka u vidljivom dijelu spektra visoke prostorne rezolucije (HRV) preklapljen na poluprozirnom satelitskom snimkom u infracrvenom dijelu spektra (EN IRW 10.8 μm) 15. rujna 2022. u 12:30 UTC (14:30 sati po lokalnom vremenu). Boje označavaju temperaturu vrhova oblaka, od 200 K (tamnocrveno) do 240 K (plavo). Crveno zaokružena jest analizirana konvektivna ćelija.

Figure 5.5.7. Sandwich product – high resolution visible (HRV) satellite image overlaid with a semi-transparent colour – enhanced infrared 10.8 μm satellite image (EN IRW 10.8 μm) on 15 September 2022 at 12:30 UTC (2:30 pm local time). The colours indicate cloud top brightness temperature from 200 K (dark red) to 240 K (blue). The analysed convective cell is marked with red circle.



Slika 5.5.8. Convective Storm RGB satelitski produkt 15. rujna 2022. u 12:15 UTC (14:15 sati po lokalnom vremenu). Žučkaste boje na vrhovima konvektivnih oblaka upućuju na intenzivnu konvekciju. Crveno zaokružena jest analizirana konvektivna ćelija.

Figure 5.5.8. Convective Storm RGB satellite product, 15 September 2022 at 12:15 UTC (2:15 pm local time). Yellowish colours at the tops of the convective clouds are indicative of an intense convection. The analysed convective cell is marked with a red circle.

Tog poslijepodneva zabilježena je i vrlo snažna grmljavinska aktivnost. Nad područjem Bjelovarsko-bilogorske županije zabilježeno je oko 4000 munja (slika 5.5.9) koje su rezultat intenzivne konvektivne superćelije. Značajan broj munja detektiran je i iznad 10 km visine, što također upućuje na vrlo jaku uzlaznu struju.

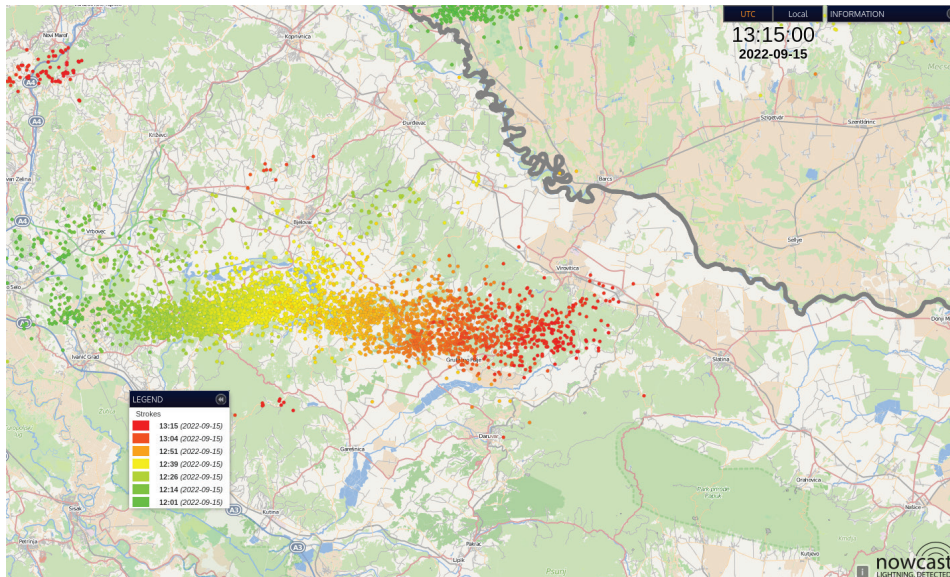
### Zaključak

Detaljna analiza raspoloživih prognostičkih materijala upućuje na to da su bili ispunjeni svi sinoptički i

strong between the height of 0 km and 6 km, which was conducive to the formation of a supercell – a convective cell characterized by rotating updraft that is often associated with severe weather phenomena on the ground, such as strong and gale-force winds, intense showers, or hail. Also, the formation of a tornado over land surfaces is possible only if a supercell develops.

All available satellite and radar products, as well as lightning data, confirmed the existence of an intense convective cell with a very strong updraft. Radar products also confirmed the existence of a supercell with a rotating updraft, and reflectivity exceeding 60 dBZ is most often as-





Slika 5.5.9. Munje u razdoblju od 15. rujna 2022. u 12:00 UTC (14:00 sati po lokalnom vremenu) do 15. rujna 2022. u 13:15 UTC (15:15 sati po lokalnom vremenu). Pojavom munja moguće je pratiti putanju ćelije od zapada prema istoku Hrvatske čija je procijenjena brzina bila oko 20,4 m/s (slika 5.5.4). Izvor: Nowcast GmbH.

Figure 5.5.9. Lightning in the period between 15 September 2022 at 12:00 UTC (2:00 pm local time) and 15 September 2022 at 13:15 UTC (3:15 pm local time). The occurrence of lightning allows us to track the path of the cell, whose estimated speed was about 20.4 m/s (Figure 5.5.4), from the west to the east of Croatia. Source: Nowcast GmbH.



Slika 5.5.10. Štete na šumskim površinama u Čazmi i okolici nastale zbog jakog i olujnog vjeta. Na fotografijama nema dokaza vrtložnog gibanja. Stabla su položena u istom smjeru uz blagu divergenciju. Foto: Tomislav Kozarić.

Figure 5.5.10. Damage to forest areas in Čazma and the surrounding area caused by strong and gale wind gusts. There was no indication of wind vorticity. Knocked-down trees are facing the same direction, with mild divergences. Photo: Tomislav Kozarić.



mezoskalni uvjeti za nastanak lokalno intenzivnih konvektivnih nevremena nad područjem Bjelovarsko-bilogorske županije.

Prema radiosondažnom mjerenju atmosfera je bila nestabilna, a smicanje vjetra od 0 do 6 km visine vrlo jako, što pogoduje nastanku superćelije – konvektivne ćelije koju karakterizira rotacija uzlazne struje, a često je povezana i s vrlo opasnim vremenskim pojavama na tlu, kao što su jak i olujni vjetar, intenzivan pljusak ili tuča. Također, jedino u slučaju razvoja superćelije moguć je nastanak tornada nad kopnenim površinama.

Svi dostupni satelitski i radarski produkti, kao i podaci o munjama potvrđuju postojanje intenzivne konvektivne ćelije s jakim uzlaznom strujom. Radarski produkti također dokazuju postojanje superćelije s rotacijskom uzlaznom strujom, a reflektivnost veća od 60 dBZ najčešće je povezana i s pojavom tuče na tlu. Dodatno, područje najvećih gradijenata reflektivnosti koje označava područje gdje očekujemo najjače udare vjetra nalazilo se nad Čazmom.

Prema navedenom nedvojbeno je da se nad širim područjem Čazme razvila superćelija koja je za posljedicu imala vrlo opasne vremenske pojave pri tlu. U takvim uvjetima nekoliko je mogućih scenarija u kojima dolazi do olujnih i orkanskih udara vjetra, a najvjerojatniji su propad i tornado.

Propad (engl. *downburst*) – intenzivna silazna struja u konvektivnom oblaku koja je praćena jakim i olujnim vjetrom i udarima pri tlu. Brzine vjetra u ovom slučaju mogu biti i do 10 puta veće od uobičajenih u silaznoj struji. Za nastanak vlažnog propada ključna je zasićenost atmosfere, odnosno veliko opterećenje oborinom. Oboriva voda (TPW), odnosno količina vodene pare u stupcu zraka, izražena kao debljina sloja vode u mm koju bi ta para dala kada bi se sva ukapljila, uglavnom je u takvim slučajevima veća od 35 mm (TPW > 35 mm).

Tornado – nastaje isključivo iz superćelije koja je u ovom slučaju bila detektirana na radarskim produktima. Osim superćelije za nastanak tornada potrebni su i povoljni uvjeti u najnižem sloju troposfere. U ovom slučaju i ti uvjeti bili su zadovoljeni, odnosno smicanje vjetra u sloju od 0 do 1 km bilo je veće od 10 m/s, a visina baze oblaka bila je niža od 1500 m. Prema navedenom uvjeti za nastanak tornada bili su zadovoljeni, no na temelju dostupnih dokaza (snimaka, fotografija) te naknadnog obilaska terena i izvida šteta možemo zaključiti da se vrlo vjerojatno nije radilo o takvom zračnom vrtlogu.

## 5.6 Bujična i urbana poplava u Rijeci 28. rujna 2022.

### Sinoptička i mezoskalna analiza

Tanja Renko, Petra Mikuš Jurković,  
Lovro Kalin, Tomislav Kozarić

Zapadnu Hrvatsku, a posebno područje Istre i Rijeke 28. rujna 2022. zahvatila je snažna promjena vremena s obilnom kišom koja je bila posljedica izražene i dugotrajnije konvekcije na tom području. Najveću štetu

sociated with the occurrence of hail on the ground. Additionally, the area of the highest reflectivity gradients, which indicates the area where the strongest wind gusts are expected, was located over Čazma.

According to all analysed characteristics of the convective cell, a supercell unquestionably developed over the wider area of Čazma, resulting in severe weather phenomena at the ground. In these conditions, there are several possible scenarios in which gale and hurricane-force wind gusts occur, among which downburst and tornado are the likeliest.

A downburst is an intense downdraft in a convective cloud, accompanied by strong and gale force winds at the ground. Wind speeds in this case can be up to 10 times higher than those in a usual downdraft. Atmosphere saturation (high precipitation load) is key to the formation of wet downbursts. Total precipitable water (TPW), referring to the amount of water vapor in the air column, expressed as the thickness of the water layer in mm that this vapor would give if it were all liquefied, is generally higher than 35 mm (TPW > 35 mm) in such cases.

A tornado develops only from a supercell, which was confirmed by different radar products in this case. In addition to the supercell, the development of tornadoes also requires favourable conditions in the lowest layer of the troposphere. These conditions were also met in this case, with wind shear in the layer between 0 km and 1 km exceeding 10 m/s, and the height of the cloud base being lower than 1500 m. According to the above, the conditions for the formation of a tornado were met, but available videos and photos, as well as an officially on-site inspection, indicate that a tornado had most likely not formed.

## 5.6 Flash and urban flood in Rijeka on 28 September 2022

### Synoptic and mesoscale analysis

Tanja Renko, Petra Mikuš Jurković,  
Lovro Kalin, Tomislav Kozarić

On 28 September 2022, western Croatia, especially the area of Istria and Rijeka, was affected by heavy rain, which was the result of pronounced and long-lasting convection in the area. The town of Rijeka sustained the heaviest damage (Figure 5.6.1), including, sadly, one human casualty in the flash flood.

The weather in Croatia and the neighbouring countries on the day in question was influenced by a south-westerly flow ahead of a deep trough and an upper-level low over central and northern Europe. There were several short-wave troughs at the edge of the trough whose axis lay in the north-south direction, at least one of which moved over western Croatia during the day (Figure 5.6.2).

At the same time, there was a low air pressure field over northern Italy (Figure 5.6.3). In addition, convergence was present at the surface and divergence was pronounced at higher levels. That played an important role in the processes of the formation of thunderstorms because such an environment favours upward motion.



Slika 5.6.1. Rijeka pod bujicom 28. rujna 2022. u večernjim satima. Izvor: Jutarnji list.

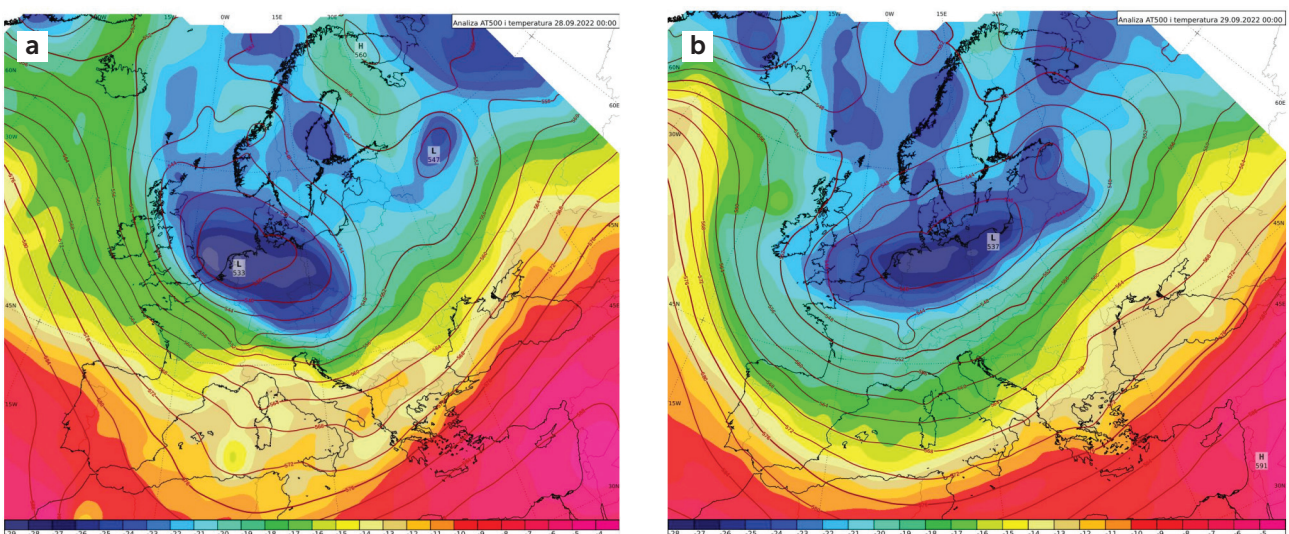
Figure 5.6.1. Flood in Rijeka on the evening of 28 September 2022. Source: Jutarnji list.

pretrpio je grad Rijeka (slika 5.6.1) gdje je bujična poplava nažalost odnijela i jedan ljudski život.

Vrijeme u Hrvatskoj i okolnim zemljama toga dana bilo je pod utjecajem jugozapadnog strujanja ispred duboke doline i visinske ciklone nad srednjom i sjevernom Europom. Na rubu doline s osi položenom u smjeru sjever-jug nalazile su se kratkovalne doline od kojih se barem jedna tijekom dana premještala preko zapadnog dijela naše zemlje (slika 5.6.2). Istodobno se prizemno nad sjevernom Italijom nalazilo polje sniženog tlaka zraka (slika 5.6.3). Uz polje sniženog tlaka zraka prizemno je bila prisutna konvergencija, a po visini izražena divergencija koja je odigrala važnu ulogu u procesima nastanka grmljavinskih nevremena jer takvo okruženje pogoduje uzlaznom strujanju.

A large amount of moist and unstable air arrived in our region in the south-westerly flow from the Mediterranean area, where the conditions for the formation of a deep moist convection (DMC) were met, including moisture in the lower layers of the atmosphere, instability of the air (cooler air is advected at higher levels, creating sufficiently pronounced lapse rates), and a lifting mechanism that lifts moist air to a height (LFC – level of free convection), where all available convective potential energy (CAPE) can be used.

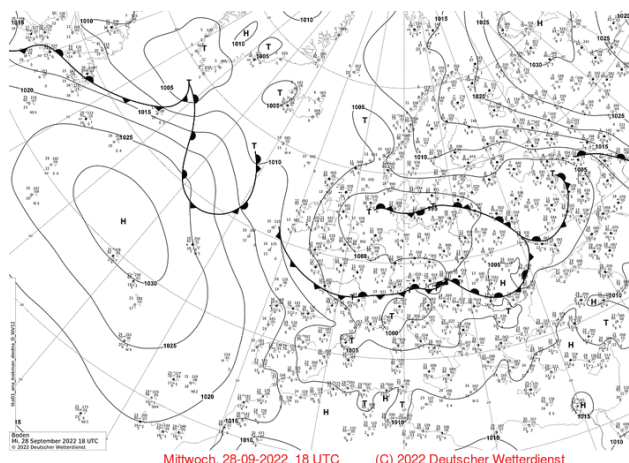
Flash floods and urban floods that occur in just a few hours are often the result of thunderstorms or quasi-stationary convective storms, which spend most of their lifetime in approximately the same area, as well as of convections occurring repeatedly, one after another, each



Slika 5.6.2. Sinoptička analiza geopotencijalne visine (gpdam) apsolutne topografije izobarne plohe 500 hPa, AT500 hPa i temperature zraka (°C) na izobornoj plohi 500 hPa, a) 28. rujna 2022. i b) 29. rujna 2022. u 00:00 UTC.

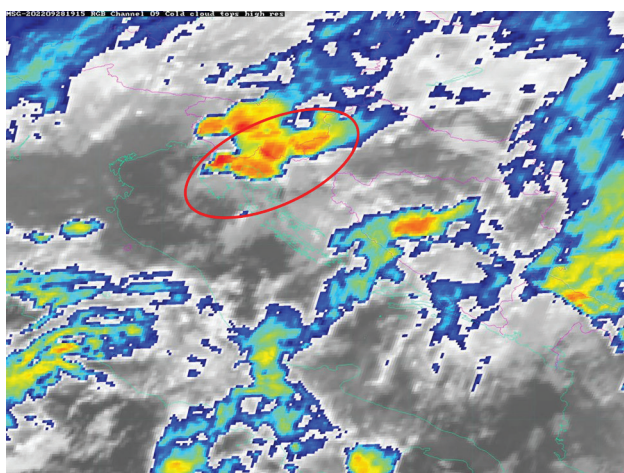
Figure 5.6.2. Geopotential height synoptic analysis (gpdam) of absolute topography of the 500 hPa isobaric surface, AT500 hPa, and air temperature (°C) at the 500 hPa isobaric surface, a) 28 and b) 29 September 2022 at 00:00 UTC.





Slika 5.6.3. Prizemna analiza polja tlaka zraka i prikaz sinoptičkih sustava 28. rujna 2022. u 18:00 UTC (20:00 h po lokalnom vremenu). Izvor: DWD.

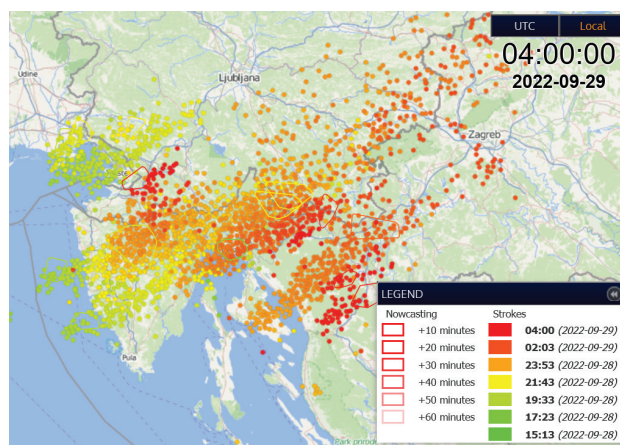
Figure 5.6.3. Surface analysis of the air pressure field and synoptic systems, 28 September 2022, at 18:00 UTC (20:00 local time). Source: DWD.



Slika 5.6.5. Satelitska snimka u infracrvenom dijelu spektra (EN IRW 10,8 μm) gdje boje označavaju temperaturu (od 200 K (tamnocrveno) do 240 K (plavo)) 28. rujna 2022. u 19:15 UTC (21:15 h po lokalnom vremenu). Crveno zaokruženo su konvektivne ćelije nad zapadnom Hrvatskom. Izvor: Eumetsat.

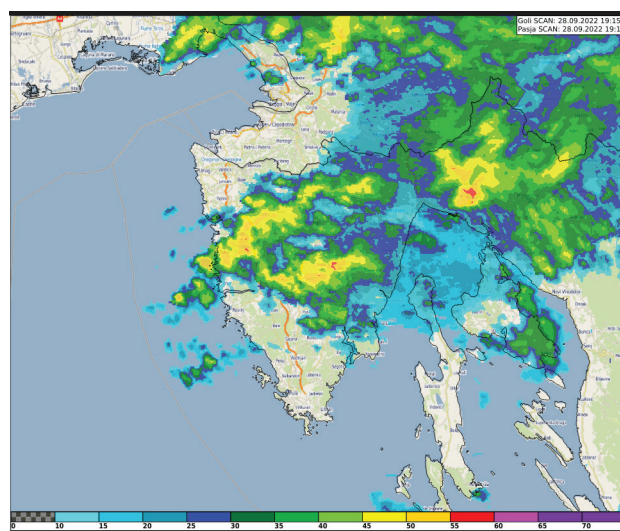
Figure 5.6.5. Satellite image in the infrared part of the spectrum (EN IRW 10.8 μm) where the colours indicate the temperature (from 200 K (dark red) to 240 K (blue)), on 28 September 2022 at 19:15 UTC (21:15 local time). Convective cells over western Croatia are in the red circle. Source: EUMETSAT.

Velika količina vlažnog i nestabilnog zraka stigla je u naše krajeve s jugozapada s područja Mediterana, pri čemu su uvjeti za nastanak duboke vlažne konvekcije bili zadovoljavajući. Potrebni su uvjeti vlaga u nižim slojevima atmosfere, nestabilnost zraka – po visini pritiječe hladniji zrak stvarajući dovoljno izražene stope ohlađivanja i mehanizam podizanja vlažnog zraka na visinu (LFC – razina slobodne konvekcije) s koje je u mogućnosti iskoristiti svu raspoloživu konvektivnu potencijalnu energiju (CAPE).



Slika 5.6.4. Munje od 28. rujna 2022. u 15:00 h po lokalnom vremenu do 29. rujna 2022. u 4 h po lokalnom vremenu. Pojavom munja moguće je pratiti putanju ćelija od jugozapada prema sjeveroistoku Hrvatske; izvor: nowcast GmbH.

Figure 5.6.4. Lightning in the period from 3:00 pm local time to 29 September 2022 at 4:00 am local time. The occurrence of lightning allows us to track the path of the cells from the southwest to the northeast of Croatia. Source: nowcast GmbH.



Slika 5.6.6. Radarska slika – prikazana je radarska reflektivnost (dBz) 28. rujna 2022. u 19:15 UTC.

Figure 5.6.6. Radar image showing radar reflectivity (dBz) on 28 September 2022 at 19:15 UTC.

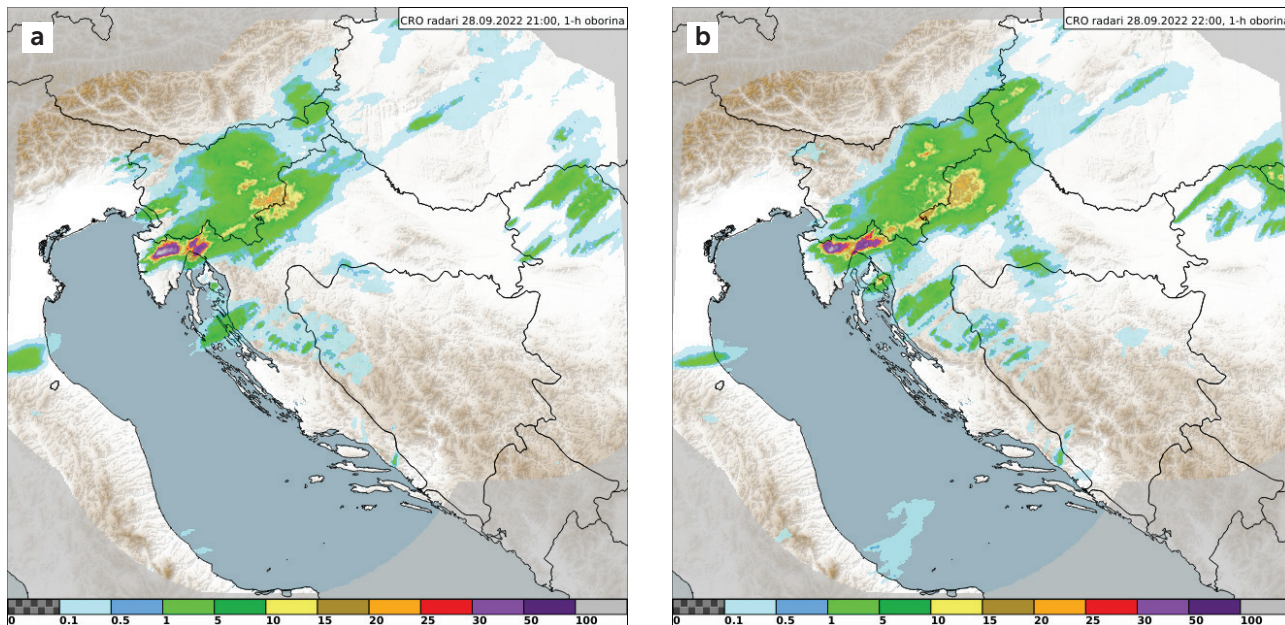
reaching maturity and maximum precipitation amount and intensity (maximum rainfall rate) in approximately the same place. Such a series of convective cells results in the so-called train effect. This was exactly what happened in the Istria and Rijeka area in the evening of 28 September.

Rain in the wider Rijeka area started late in the afternoon, and the processes began to intensify shortly before 18:00. The first lightnings (Figure 5.6.4) were registered in the Kvarner area at around 18:30 local time. Around 20:00, more pronounced thunderclouds began to form along the western coast of Istria (Figure 5.6.5) and move through the



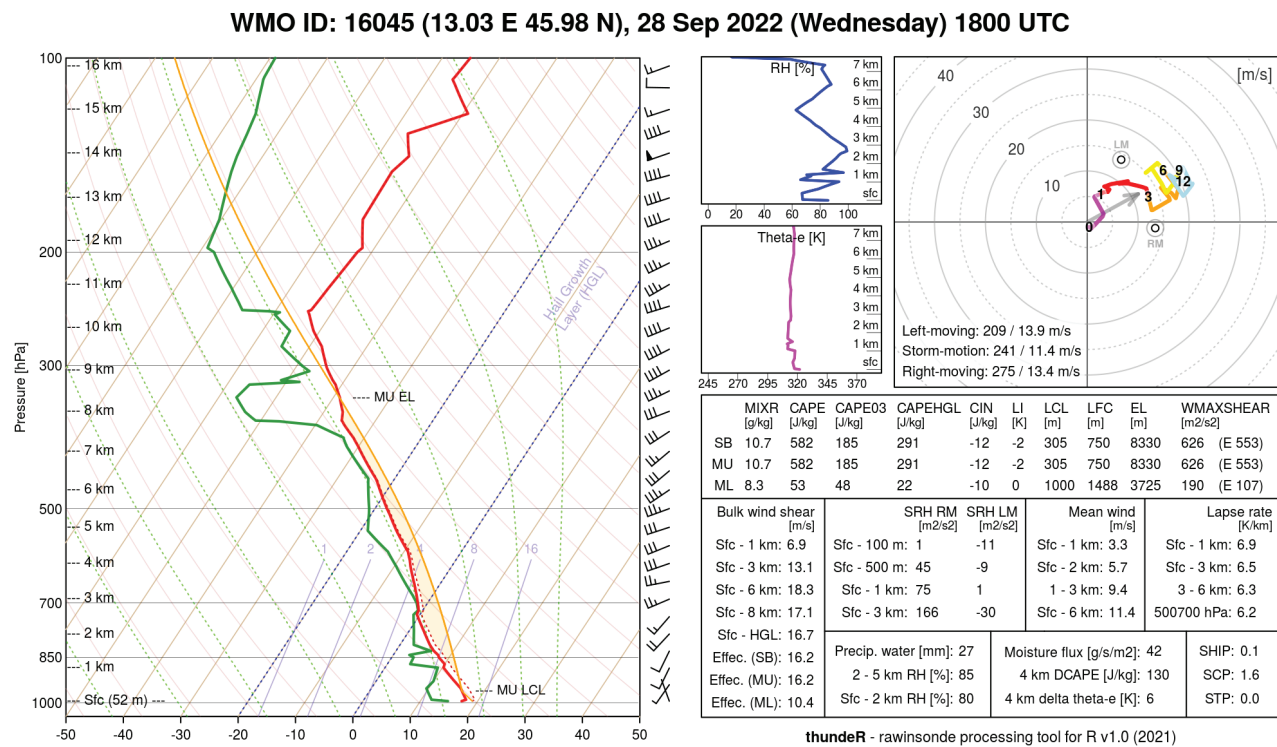
Bujice i urbane poplave koje nastaju u samo nekoliko sati često su posljedica grmljavinskih nevremena odnosno konvektivnih oluja koje su kvazistacionarne, tj. veći dio životnog vijeka provedu na približno istom

interior of Istria in the south-westerly flow. In addition to the continuous formation of a convection in the same place (Figure 5.6.6), the process and precipitation intensified also due to orography since the radar reflections often intensi-



Slika 5.6.7. Satna akumulacija oborine mjerena radarom 28. rujna u a) 21:00 i b) 22:00 UTC.

Figure 5.6.7. Hourly precipitation accumulation measured by radar on 28 September at a) 21:00 and b) 22:00 UTC.



Slika 5.6.8. Visinsko radiosondažno mjerenje (termodiagram) u Rivolto (Republika Italija) 28. rujna 2022. u 18:00 UTC (20:00 sati po lokalnom vremenu).

Figure 5.6.8. Radio sounding measurement (thermodiagram) in Rivolto (Republic of Italy), 28 September 2022 at 18:00 UTC (20:00 hours local time).

području, i onih koje nastaju opetovano slijedeći jedna drugu, pri čemu svaka od njih dosegne zrelost te maksimalnu količinu i intenzitet oborine (engl. *maximum rain-fall rate*) na približno istome mjestu. Takav niz konvektivnih ćelija rezultira tzv. učinkom vlaka (engl. *train effect*). Upravo se takva situacija dogodila i u večernjim satima 28. rujna na području Istre i grada Rijeke.

Kiša je na širem riječkom području počela padati kasno poslijepodne, a malo prije 18 h procesi su se počeli pojačavati te su prve munje (slika 5.6.4) zabilježene na području Kvarnera oko 18:30 h po lokalnom vremenu. Potom su se duž zapadne obale Istre oko 20 h počeli stvarati izraženiji grmljavinski oblaci (slika 5.6.5) i premještati kroz unutrašnjost Istre u jugozapadnoj struji. Pojačanju procesa i intenzitetu oborine zasigurno je, osim kontinuiranog stvaranja konvekcije na istome mjestu (slika 5.6.6), pripomogla i orografija s obzirom na to da su se radarski odrazi često pojačavali prelaskom preko Učke i uzdižući se prema Gorskom kotaru. Kišonosni oblaci nastavljali su se stvarati sve do nakon ponoći (slika 5.6.7).

Analizom radiosondažnog mjerenja (slika 5.6.8) na talijanskoj postaji Rivotto koja je za ovaj slučaj reprezentativna (pokriva vremenski važne karakteristike zračne mase koja stiže nad područje sjevernog Jadrana u jugozapadnoj visinskoj struji) vidljivo je da se procesi odvijaju u području toplijeg dijela troposfere te da je u cijelom stupcu visoka relativna vlaga, a to su uvjeti koji su nužni za stvaranje veće količine oborive vode (vrijednost oborive vode jest 27 mm, a relativna vlaga veća je od 80 %), odnosno kiše koja dosegne do tla. Također prisutna je ciklonalna zakrivljenost strujanja u nižim slojevima troposfere, no na lokaciji Rivotta nije zabilježena u tom terminu niska mlazna struja koja također pogoduje obilnoj oborini.

## Hidrološka analiza

Tatjana Vujnović

Zbog geografskog položaja uz more u Kvarnerskom zaljevu i s istaknutim brdskim zaleđem područje grada Rijeke obiluje oborinama. Kombinacija intenzivnih oborina uz širenje grada i urbanizaciju prostora značajna je podloga za pojavu urbanih poplava. Urbanizacija prostora smanjuje mogućnost upijanja i cirkuliranja oborine u podzemlje zbog smanjivanja upojnih površina njihovim „brtvljenjem“ npr. izgradnjom objekata, asfaltiranjem itd. Takve (vodo)nepropusne površine imaju malo trenje te uz nagib terena pogoduju brzom površinskom otjecanju prema nižim terenima i krajnjem recipijentu – moru.

Takav slučaj dogodio se u Rijeci kada je rekordna količina oborine od 179,3 mm, koja je pala u samo tri sata 28. rujna 2022., prouzročila brzo površinsko otjecanje oborinskih voda putem strmih gradskih ulica, tj. umjetnih „površinskih kolektora“ ili „vodotoka“. Nažalost, brzina i energija navedenog tečenja doprinijela je i gubitku jednog ljudskog života toga dana.

I taj događaj upućuje na intenziviranje oborinskih procesa u skladu s projekcijama klimatskih modela te potrebu za održavanjem, usklađivanjem, prilagodbom i inovativnim rješenjima gradskih sustava za odvodnju.

fied when passing over Učka mountain and rising towards Gorski Kotar. Clouds bringing rain and lightning continued to form until after midnight (Figure 5.6.7).

The analysis of the radio sounding measurement (Figure 5.6.8) at the Italian station Rivotto, which was representative in this case (covering weather-relevant characteristics of the air mass advected over the northern Adriatic in the south-westerly flow), showed that the processes took place in the warmer part of the troposphere, and that saturation (high humidity) was present in the thick layer of the atmosphere. These conditions were necessary for the formation of a large amount of precipitable water, or rain that reaches the ground (the value of precipitable water was 27 mm, and relative humidity was greater than 80 %). There was also a cyclonic curvature of the flow in the lower layers of the troposphere, but at the Rivotto location, a low jet stream that is also conducive to abundant precipitation was not registered at this point in time.

## Hydrological analysis

Tatjana Vujnović

Rijeka is a high-rainfall area due to its geographical position, flanked by the sea in the Kvarner Bay on one side and prominent mountains on the other. The combination of intense precipitation and town expansion and urbanization is conducive to urban floods. Urbanization reduces the capacity for precipitation absorption and circulation into the underground, since absorption surfaces are reduced by "sealing", including construction of buildings, asphaltting, etc. Such impermeable surfaces have little friction, and, in combination with the slope of the terrain, contribute to rapid surface runoff towards lower lying terrains and the ultimate recipient, the sea.

This happened in Rijeka when the record amount of precipitation (179.3 mm), falling in mere three hours on 28 September 2022, caused rapid surface runoff of stormwater through the steep town streets, acting as artificial "surface collectors" or "watercourses". Sadly, the speed and energy of this flow contributed to the loss of one human life.

This event indicates that precipitation processes are intensifying in accordance with climate model projections, and that urban drainage systems need to be maintained, aligned and adapted, and innovative solutions sought.

The Rječina river swelled due to heavy rainfall in its basin in the Rijeka hinterlands. Rječina is a torrential river that emerges approximately 15 km from Rijeka at 325 m above sea level, and whose karst spring water has been used to supply Rijeka with water since 1914. The spring discharge<sup>7</sup> ranges between 0 and 100,000 l/s.

Minimal (Rel WL<sub>min</sub>) and maximum relative water levels (Rel WL<sub>Max</sub>) recorded during the extraordinary precipitation event on 28 September 2022 are shown in Table 5.6.1, with the corresponding dates and times at hydrological stations Martinovo Selo uzv. and Tvornica papira.

At the hydrological station Martinovo Selo uzvodno, which is located approximately 10 km upstream of Rijeka, the water level rose by 175 cm (Diff. rel. H) in less than seven hours. The return period for the maximal recorded rel-

<sup>7</sup> (<https://www.kdviik-rijeka.hr/voda/vodopskrba/izvorista>)

Tablica 5.6.1. Minimalni (rel  $H_{min}$ ) i maksimalni (rel  $H_{maks}$ ) relativni vodostaji s pripadnim datumima i vremenima na postaji Martinovo Selo uzv. i Tvornica papira 28. rujna 2022.

Table 5.6.1. Minimal (rel  $H_{min}$ ) and maximum (rel  $H_{maks}$ ) relative water levels with the corresponding dates and times at station Martinovo Selo uzv. and Tvornica papira on 28 September 2022.

Hidrološka postaja Hydrological station		Martinovo Selo uzv.	Tvornica papira
rel. $H_{min}$	Rel $WL_{min}$ (cm)	134	154
datum vrijeme	Date and time	28. 9. 2022. 17:00	28. 9. 2022. 18:20
rel. $H_{maks}$	Rel $WL_{max}$ (cm)	309	364
datum vrijeme	Date and time	28. 9. 2022. 23:45	29. 9. 2022. 1:20
razlika rel. H	Diff2. rel. H (cm)	175	210

Usljedio je porast Rječine uslijed obilne oborine na njezinu slivu u riječkom zaleđu. Rječina je bujična rijeka koja izvire oko 15 km od grada Rijeke na 325 m n/m i čija se voda iz krškog izvora koristi u vodoopskrbi grada Rijeke od 1914. godine. Izdašnost izvorišta<sup>7</sup> jest od 0 do 100.000 l/s.

Tijekom iznimnog oborinskog događaja 28. rujna 2022. zabilježeni su minimalni (Rel  $H_{min}$ ) i maksimalni (Rel  $H_{maks}$ ) relativni vodostaji, koji su prikazani u tablici 5.6.1 s pripadnim datumima i vremenima na hidrološkoj postaji Martinovo Selo uzv. i postaji Tvornica papira.

Na hidrološkoj postaji Martinovo Selo uzvodno, koja se nalazi oko 10 km uzvodno od Rijeke, u nepunih 7 h vodostaj je narastao za 175 cm (razlika rel. H). Povratno razdoblje maksimalnog zabilježenog vodostaja od 300 cm na toj postaji, a koji odgovara protoku od 90 m<sup>3</sup>/s, jest između 10 i 20 godina. Vodostaj na hidrološkoj postaji Tvornica papira (u samom gradu Rijeci) u 7 h narastao je za 210 cm (razlika rel. H), pri čemu bi pripadnom protoku pripadalo povratno razdoblje 25 – 50 godina.

Usporedimo li vremena nailaska vrha vodnog vala između te dvije hidrološke postaje, vidljivo je da je proteklo 95 minuta (tablica 5.6.1) uz međusobnu udaljenost od oko 10 km. Na tim je podacima gruba procijenjena brzina tečenja iznosila 1,75 – 2 m/s između Martinovog Sela uzv. i Tvornice papira. Između navedenih postaja nalazi se brana s akumulacijskim jezerom Valiči odakle se dio vode Rječine preusmjerava na postrojenja HE Rijeke preko dovodnoga tlačnog tunela.

Sektor hidrologije DHMZ-a u operativnoj prognostičkoj službi primjenjuje dva hidrološka prognostička sustava za prognozu bujičnih poplava – Europski sustav upozorenja na poplave (EFAS) i WMO Southeast Europe Flash Flood Guidance System (SEEFFGS). Iako su oba sustava upozoravala na mogućnost pojave bujičnih poplava u tom području RH, oba su podcijenila događaj.

#### Klimatološka analiza

Ksenija Cindrić Kalin, Leonardo Patalen

Klimatološka analiza ekstremne oborine u rujnu 2022. provedena je prema kišomjernim i ombrografskim

ative water level registered at the station, which measured 300 cm and corresponds to a discharge of 90 m<sup>3</sup>/s, is 10–20 years. Water levels at the hydrological station Tvornica papira (in Rijeka) rose 210 cm (Diff. rel. H) in seven hours, whereby the corresponding discharge would have a return period of 25–50 years.

A comparison of arrival times of the water wave peaks between the two hydrological stations shows that 95 minutes passed (Table 5.6.1). Given that the two stations are approximately 10 km apart, the rough estimated flow velocity between Martinovo Selo uzv. and Tvornica papira was 1.75–2 m/s. A dam and the Valiči reservoir is located between the mentioned stations, from where a part of the Rječina water is redirected to the Hydro Power Plant Rijeka facilities via a pressure tunnel.

The Hydrology Sector at the DHMZ uses two hydrological forecasting systems in its operative hydrological forecasting of flash floods: the European Flood Awareness System (EFAS) and the WMO Southeast Europe Flash Flood Guidance System (SEEFFGS). Although both systems indicated possible occurrence of flash floods in this Croatian region, both underestimated the event.

#### Climatological analysis

Ksenija Cindrić Kalin, Leonardo Patalen

The climatological analysis of the extreme precipitation in September 2022 is based on rain-gauge and ombrograph data recorded at the main meteorological station (GMP) Rijeka in the period 1958–2022. Ombrograph data was used to analyse the short-term precipitation amount (from 10 min to 24 h), while rain-gauge data was used to analyse daily and multi-day maximums. The daily precipitation amount on a certain day refers to the 24-hour period beginning at 7:00 am on the previous day.

An extreme precipitation amount of 287.5 mm was recorded on 29 September 2022 at 7:00 am (Table 5.6.2). It was the highest daily amount of precipitation since the middle of the 20<sup>th</sup> century, when meteorological measurements were established in Rijeka. Furthermore, on 30 September, an additional amount of 81.9 mm was recorded, resulting in a two-day total of 369.4 mm as a new two-day record at the Rijeka station. The previous daily maximum (248.9 mm) was recorded on 30 September 2013, and the

<sup>7</sup> (<https://www.kdvik-rijeka.hr/voda/vodoopskrba/izvorista>)



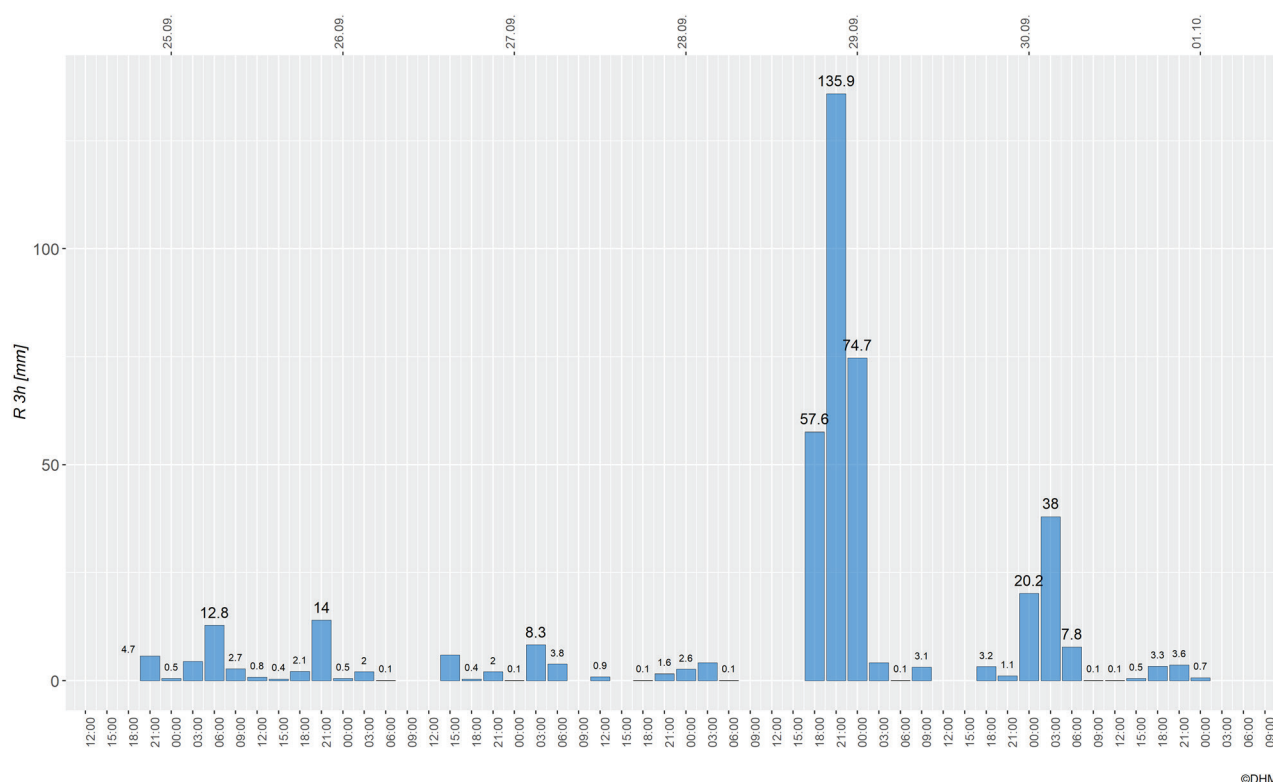
Tablica 5.6.2. Prosječna vrijednost ( $R_{sred}$ , u mm), standardna devijacija ( $StDev$ , u mm) i koeficijent varijacije ( $CV$ ) niza godišnjih maksimuma količina oborine za različita dnevna trajanja, najveća dosadašnja vrijednost ( $R_{maks}$ , u mm) u dugogodišnjem razdoblju (1958. – 2021.), vrijednosti iz rujna 2022. ( $R_{2022}$ , u mm) te pripadna povratna razdoblja ( $T_{2022}$ , u godinama) prema kišomjernim podacima s GMP Rijeka.

Table 5.6.2. The mean ( $R_{sred}$ , in mm), standard deviation ( $StDev$ , in mm) and coefficient of variation ( $CV$ ) of annual maximum precipitation amount series on different daily scales (Duration, in days); the corresponding multiannual precipitation maximums ( $R_{maks}$ , in mm) (1958-2021) and the corresponding maximums recorded in September 2022 ( $R_{2022}$ , in mm) with estimated return periods ( $T_{2022}$ , in years) according to rain-gauge data from the Rijeka station.

Trajanje Duration	$R_{sred}$	$StDev$	$CV$	$R_{maks}$	$R_{2022}$	$T_{2022}$
1	108,8	43,2	0,4	248,9	287,5	110
2	136,3	50,2	0,37	324,7	369,4	185
3	153,3	51,4	0,34	324,7	379,1	189
4	165,2	51,9	0,31	331,7	400,9	270
5	176,4	51,4	0,29	331,7	421,7	424
6	184,9	51,6	0,28	331,7	452,9	648

podacima glavne meteorološke postaje (GMP) Rijeka iz razdoblja 1958. – 2022. Prema ombrografskim podacima analizirane su kratkotrajne količine oborine (od 10 min do 24 h), a uz pomoć kišomjernih podataka analizirani su dnevni i višednevni maksimumi (dnevna količina oborine za određeni dan odnosi se na 24-satno razdoblje s početkom u 7:00 prethodnog dana).

previous two-day maximum was recorded on 22 August 1981 (324.7 mm). The values of the corresponding return periods (obtained by the GEV distribution) indicate how extraordinary the rain event was in Rijeka. The daily and multi-day precipitation maximums in September 2022 are twice as high as the value of past average maximums and have a return period larger than 100 years. Additionally, the



©DHMZ

Slika 5.6.9. Vremenski niz trosatne količine oborine ( $R_{3h}$ ) u razdoblju 24. – 30. rujna 2022. prema ombrografu na GMP Rijeka.

Figure 5.6.9. Time series of the three-hour precipitation amounts ( $R_{3h}$ ) in the period 24-30 September 2022, as measured by the ombrograph at the Rijeka station.



Tablica 5.6.3. Prosječna vrijednost ( $R_{sred}$ , u mm), standardna devijacija ( $StDev$ , u mm) i koeficijent varijacije ( $CV$ ) niza godišnjih maksimuma količina oborine za različita minutna i satna trajanja, najveća vrijednost ( $R_{maks}$ , u mm) u dugogodišnjem razdoblju (1958. – 2021.), vrijednost iz rujna 2022. ( $R_{2022}$ , u mm) te pripadno povratno razdoblje ( $T_{2022}$ , u godinama) prema ombrografu s GMP Rijeka.

Table 5.6.3. The mean ( $R_{sred}$ , in mm), standard deviation ( $StDev$ , in mm) and coefficient of variation ( $CV$ ) of annual maximum precipitation amount series on different short-time scales (Duration, in minutes and hours); the corresponding precipitation maximum ( $R_{maks}$ , in mm) recorded 1958-2021 and the corresponding maximums recorded in September 2022 ( $R_{2022}$ , in mm) with estimated return periods ( $T_{2022}$ , in years), as measured by the ombrograph at the Rijeka station.

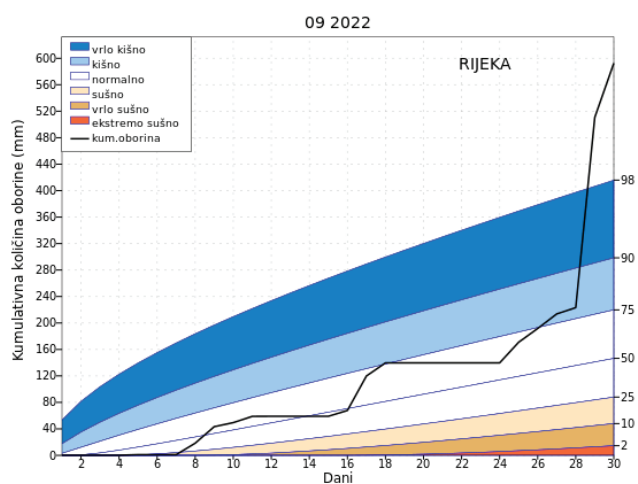
Trajanje Duration	$R_{sred}$	$StDev$	$CV$	$R_{maks}$	$R_{2022}$	$T_{2022}$
10 min	16,3	7,1	0,44	50,4	22,5	6
20 min	24,6	9,0	0,37	52,4	41,3	22
30 min	30,4	11,2	0,37	63,7	53,9	27
40 min	35,2	13,5	0,38	74,8	67,8	39
50 min	38,5	15,0	0,39	80,8	80,2	56
60 min	41,8	16,7	0,40	87,4	90,6	61
2 h	55,7	27,4	0,49	141,1	147,9	60
3 h	63,9	31,5	0,49	159,6	178,0	66
6 h	80,7	39,1	0,48	214,4	222,5	63
12 h	96,4	43,8	0,45	261,4	272,3	78
24 h	115,1	44,1	0,38	262,1	277,9	77

Na postaji Rijeka 29. rujna 2022. u 7 sati izmjerena je ekstremna količina oborine koja je iznosila 287,5 mm (tablica 5.6.2). To je najveća dnevna količina oborine od sredine prošlog stoljeća kad su uspostavljena mjerenja u Rijeci. I sljedećeg dana, 30. rujna 2022., zabilježeno je dodatnih 81,9 mm tako da je ukupna dvodnevna količina oborine od 369,4 mm novi dvodnevni rekord na postaji Rijeka. Naime, dosadašnji dnevni maksimum iznosio je 248,9 mm i zabilježen je 30. rujna 2013., a dvodnevni maksimum zabilježen je 22. kolovoza 1981. (324,7 mm). Vrijednosti pripadnih povratnih razdoblja također pokazuju klimatološku izuzetnost tog kišnog događaja na riječkom području. Naime, dnevni i višednevni maksimumi zabilježeni u rujnu 2022. premašili su dvostruku vrijednost dosadašnjih srednjih maksimuma i mogu se očekivati s povratnim razdobljem duljim od 100 godina. Dodatno, u posljednjoj dekadi rujna 2022. zabilježen je šestodnevni uzastopni niz kišnih dana tijekom kojeg je izmjereno 452,9 mm, što je najkišovitije takvo razdoblje u povijesti mjerenja na postaji Rijeka.

Analiza kratkotrajnih količina oborine prema ombrografu pokazala je da su rujanskom kišnom epizodom premašeni dosadašnji satni i višesatni maksimumi iz 2012., premda su relativno bliskih vrijednosti (tablica 5.6.3). Satni maksimumi oborine iz rujna 2022. mogu se očekivati s povratnim razdobljem u rasponu od 60 do 78 godina. Na slici 5.6.9 prikazan je vremenski niz trosatne količine oborine na postaji Rijeka od 24. do 30. rujna 2022. kada je zabilježena ekstremno kišna epizoda. Napomenimo ovdje da se navedene vrijednosti na grafu odnose na pune sate za razliku od trosatnih vrijednosti u tablici 5.6.3 koje se odnose na klizne trosatne vrijednosti (s korakom od pet minuta).

rainiest 6-day sequence on record at the Rijeka station was registered in the last decade of September 2022, with a total precipitation amount of 452.9 mm.

The analysis of short-term precipitation amounts recorded by the ombrograph showed that the rainy episode in September 2022 exceeded, though slightly, the historical hourly and multi-hour maximums recorded in 2012 (Table



Slika 5.6.10. Kumulativna količina oborine (mm) za rujna 2022. i krivulje teorijskih percentila (2., 10., 25., 50., 75., 90. i 98.) za referentno razdoblje 1961. – 2000.

Figure 5.6.10. Cumulative precipitation amount (mm) in September 2022 and theoretical percentile (2, 10, 25, 50, 75, 90 and 98) curves for the reference period 1961-2000.

Tijekom rujna u Rijeci je ukupno bilo 16 kišnih dana (s dnevnom količinom oborine većom ili jednakom 0,1 mm) i ukupna mjesečna količina oborine iznosila je 592,6 mm, što je više od trostruke prosječne rujanske količine. Rujan 2022. ujedno je bio najkišovitiji rujana na postaji Rijeka (slika 5.6.10). Dosadašnji rujanski maksimum zabilježen je 1960. godine i iznosio je 480,9 mm. Dosadašnja najveća mjesečna količina oborine zabilježena je u listopadu 1998. (526,7 mm) tako da je rujana 2022. bio najkišovitiji mjesec u povijesti mjerenja na GMP Rijeka.

5.6.2). The associated return periods of hourly maximums recorded in September 2022 range between 60 and 78 years. Figure 5.6.9 shows a time series of three-hour precipitation amount at the Rijeka station from 24 to 30 September 2022, corresponding to the extreme rainfall episode. Let us note here that the precipitation values indicated in the figure refer to the daily three-hour sums, in contrast to the three-hour values listed in Table 5.6.3 which refer to the sliding three-hour sums (with 5 minutes time step).

There was a total of 16 rainy days in September in Rijeka (with a daily precipitation amount higher than or equal 0.1 mm), and the total monthly precipitation amount was 592.6 mm, more than three times the September average. September 2022 was the rainiest September at the Rijeka station (Figure 5.6.10), exceeding the previous maximum (480.9 mm) recorded in 1960. Since the highest monthly precipitation amount was recorded in October 1998 (526.7 mm), September 2022 was generally the rainiest month on record at the Rijeka main meteorological station.

## 6. OCJENA KLIME NA GLOBALNOJ LJESTVICI ZA 2022. GODINU

Lidija Cvitan, sažetak prema  
*WMO Provisional State of the Global Climate 2022*

U sljedećim poglavljima iznosi se sažet pregled stanja klimatskog sustava i koncentracija stakleničkih plinova na globalnoj ljestvici objavljen u publikaciji Svjetske meteorološke organizacije *WMO Provisional State of the Global Climate 2022*, koja se temelji na podacima za veći dio 2022. godine. Budući da za dio 2022. godine svi podaci još nisu dostupni, uz napomenu se daju odgovarajući podaci za 2021. godinu.

### 6.1 Površinska temperatura zraka

Globalna srednja temperatura zraka za 2022. godinu bila je za 1,15 [od 1,02 do 1,28] °C viša od prosjeka za predindustrijsko referentno razdoblje 1850. – 1900. (slika 6.1). Izračun za 2022. godinu napravljen je s pomoću podataka za devet mjeseci, od siječnja do rujna 2022. Ako je spomenuta anomalija bila jednaka do kraja godine, šest skupova podataka primijenjenih u analizi postavilo bi 2022. kao petu ili šestu najtopliju zabilježenu godinu (od 1850.) i u svakom slučaju neznatno topliju od 2021. Osam godina, od 2015. do 2022., vjerojatno je osam najtoplijih godina zabilježenih u svim skupovima podataka.

I 2022. godina, kao i 2021., pokazuje jasan učinak hlađenja zbog prisutnih uvjeta La Niña, koju karakteriziraju ispodprosječne temperature površine mora u središnjem i istočnom tropskom Pacifiku i jačanje pasata, pa najčešće utječe na privremeno smanjenje globalne temperature. Uvjeti La Niña nastavljeni su s kratkim prekidima od kraja 2020. i ako su zadržani i tijekom jeseni

## 6. CLIMATE ASSESSMENT FOR THE YEAR 2022 ON GLOBAL SCALE

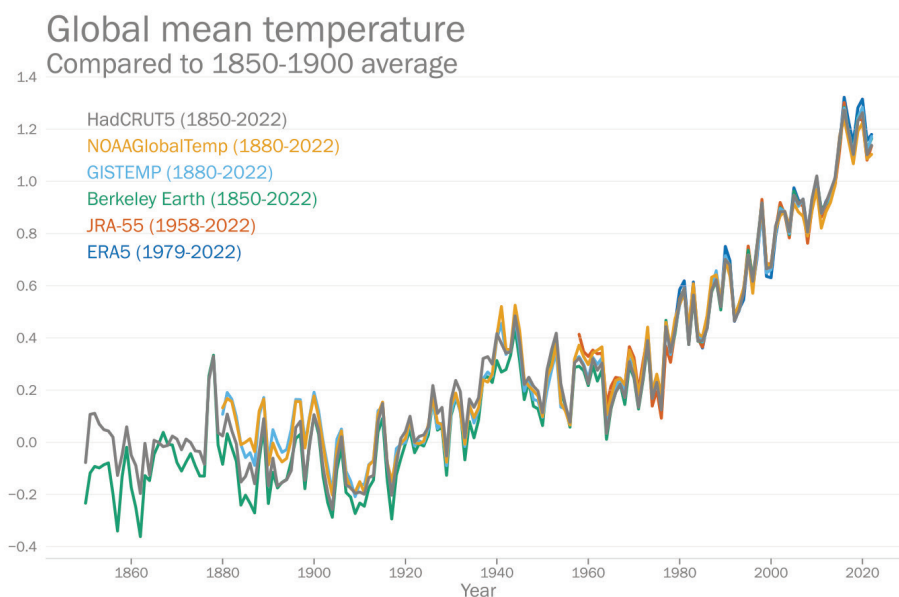
Lidija Cvitan, summary according to the  
*WMO Provisional State of the Global Climate 2022*

The following sections provide a summary of the state of the climate system and greenhouse gas concentrations on a global scale, as reported in the World Meteorological Organization's publication *WMO Provisional State of the Global Climate 2022*, which is based on data for most of 2022. Since some data are lacking for a part of the year, the corresponding data for 2021 are provided with a note.

### 6.1 Surface air temperature

The global mean air temperature for 2022 was 1.15 [1.02 to 1.28] °C higher than the average for the pre-industrial reference period 1850-1900 (Figure 6.1). The calculation for 2022 was made using nine months of data, from January to September 2022. If the aforementioned anomaly was the same for the rest of the year, the six data sets used in the analysis would place 2022 as the 5<sup>th</sup> or 6<sup>th</sup> warmest year on record (since 1850), and in any case slightly warmer than 2021. The eight years from 2015 to 2022 are likely the eight warmest years on record in all data sets.

The year 2022, like 2021, shows a clear cooling effect due to the presence of La Niña conditions. La Niña is characterized by below-average sea surface temperatures in the central and eastern tropical Pacific and strengthening of the trade winds, usually resulting in a temporary decrease in global temperatures. La Niña conditions have continued with short interruptions from late 2020 to the present. If La Niña conditions persisted



Slika 6.1. Prosječna godišnja razlika temperature (°C) u odnosu na predindustrijske uvjete (1850. – 1900.) za šest skupova podataka o globalnoj temperaturi (1850. – 2022.; za 2022. na temelju prosjeka do rujna).

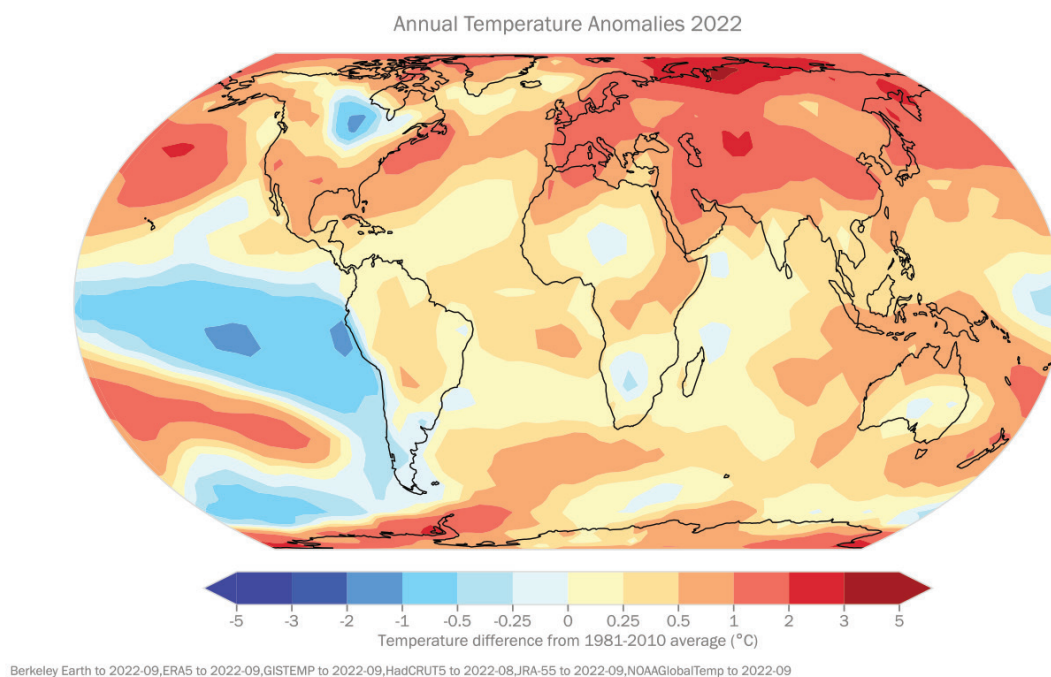
Figure 6.1. Global annual mean temperature difference (°C) from pre-industrial conditions (1850-1900) for six global temperature data sets (1850-2022, for 2022 based on an average to September).

na sjevernoj hemisferi 2022., ta bi godina bila treća uzastopna godina La Niña, odnosno takvog rijetkog događaja u posljednjih 50 godina, nakon 1973. – 1976. i 1998. – 2001. Takav je trostruki slučaj La Niña neobičan i već drugu godinu zaredom održava globalnu temperaturu niskom. Osim slabe La Niña iz 2018., posljednji značajan događaj La Niña bio je 2011. godine, uz anomaliju od 0,87 [od 0,74 do 0,99] °C. Budući da su utjecaji La Niña u 2021. i 2022. godini bili slabiji, obje su godine bile toplije od 2011. Godina 2016., koja je započela tijekom snažnog El Niña (ekvatorijalno područje pozitivnih anomalija površinske temperature Tihog oceana), uz anomaliju od 1,28 [od 1,15 do 1,40] °C, ostaje najtoplija godina zabilježena u većini analiziranih skupova podataka. U šestom izvješću IPCC-a dugoročno zagrijavanje procijenjeno je primjenom nekoliko višegodišnjih prosjeka. Za razdoblje 2011. – 2020. prosječna anomalija procijenjena je na 1,09 [od 0,95 do 1,20] °C. Procijenjeno je da je 10-godišnji prosjek za razdoblje 2013. – 2022., na temelju primijenjenih skupova podataka do rujna 2022., iznosio 1,14 [od 1,02 do 1,27] °C iznad prosjeka 1850. – 1900., što upućuje na nastavak zagrijavanja.

Prizemne temperaturne anomalije u 2022. godini nisu bile svuda jednake (slika 6.2). Većina kopnenih i oceanskih površina u analiziranom razdoblju 2022. bila je toplija od prosjeka u razdoblju 1981. – 2010., koje se upotrebljava kao baza za temperaturne karte jer nema dovoljno podataka u 19. stoljeću u većini područja za izračun anomalija u odnosu na predindustrijsko razdoblje. Područja neuobičajene topline tijekom godine uključivala su iznimno visoke ljetne prosječne temperature nad zapadnom Euroazijom i dijelovima istočne Azije. Iznimno vruće i mjestimice sušno vrijeme zahva-

in the northern hemisphere in the autumn of 2022, this would mark the third consecutive year of La Niña, and it would be the third time such a rare event occurred in the last 50 years, following 1973-76 and 1998-2001. Such a triple-dip La Niña is unusual and has kept global temperature low for the second year in a row. Aside from the weak La Niña of 2018, the last significant La Niña event was in 2011, with an anomaly of 0.87 [0.74 to 0.99] °C. As the impacts of La Niña in 2021 and 2022 were weaker, both years were warmer than 2011. 2016, which started during an exceptionally strong El Niño event (equatorial area of positive Pacific surface temperature anomalies), remains the warmest year on record globally, with an anomaly of 1.28 [1.15 to 1.40] °C in most of the data sets surveyed. In the IPCC sixth assessment report, multiannual warming was assessed using multiannual averages. For the period 2011-2020, the average anomaly was estimated to be 1.09 [0.95 to 1.20] °C. The 10-year average for the period 2013-2022 based on the data sets used here is estimated to be 1.14 [1.02 to 1.27] °C above the 1850-1900 average, indicating continued warming.

Surface temperature anomalies were not the same everywhere (Figure 6.2). Most of the land and ocean surfaces in the analyzed period of 2022 were warmer than the 1981-2010 average. The period 1981-2010 is used as a baseline for the temperature maps because there is not enough 19<sup>th</sup> century data in most areas to calculate anomalies relative to a pre-industrial baseline. Areas of unusual warmth during the year included the exceptionally high summer-average temperatures over western Eurasia and parts of eastern Asia. Exceptionally hot and, in places, dry conditions affected China, Europe and North Africa during the summer. Record-breaking



Slika 6.2. Razlike između površinske temperature zraka za 2022. do rujna i srednje temperature iz razdoblja 1981. – 2010. Karta prikazuje medijan anomalije izračunate iz šest skupova podataka: HadCRUT5, ERA5, JRA-55, GISTEMP, NOAA GlobalTemp and Berkeley Earth.

Figure 6.2. Near-surface temperature differences relative to the 1981-2010 average for 2022 to September. The map shows the median anomaly calculated from six data sets: HadCRUT5, ERA5, JRA-55, GISTEMP, NOAA GlobalTemp and Berkeley Earth.



tilo je Kinu, Europu i sjevernu Afriku tijekom ljeta 2022. Rekordni toplinski valovi vladali su Kinom i Europom tijekom ljeta, mjestimično s iznimno suhim uvjetima. Kina je imala na najvećem području i najdugotrajniji toplinski val od početka bilježenja nacionalnih rekorda, koji se protezao od sredine lipnja do kraja kolovoza i rezultirao najtoplijim zabilježenim ljetom. To je također bilo drugo najsušnije zabilježeno ljeto, s većim dijelom južne polovine Kine (osim pokrajine Guangdong) koja je imala sezonsku količinu oborina 20 % do 50 % ispod prosjeka. Predmonsonsko razdoblje bilo je iznimno vruće u Indiji i Pakistanu. Pakistan je imao najtopliji zabilježeni ožujak i travanj. Uvjeti hladniji od prosjeka zahvatili su Kanadu, južnu Afriku i južnu Južnu Ameriku, a Urugvaj je od siječnja do rujna zabilježio najhladnije razdoblje od 1988. Hladniji uvjeti od prosječnih u tropskom Pacifiku povezani su s prisutnom La Niñom, a s njom se u vezu dovode i uvjeti topliji od prosječnih u području oko „hladnog jezika” La Niñe, koje se proteže od sjevernog Pacifika, duž zapadnog ruba Pacifika i dolje u južni Pacifik.

## 6.2 Oborina

U usporedbi s temperaturom zraka oborinu karakterizira veća prostorna i vremenska varijabilnost.

Ukupna količina oborine u 2022. godini bila je iznad dugoročnog prosjeka u referentnom razdoblju 1951. – 2000. (slika 6.3) u sjeveroistočnoj Aziji, zapadnom indijskom ljetnom monsonskom području, jugoistočnoj Aziji, na Maritimnom kontinentu (među ostalim zemljama uključuje Indoneziju, Filipine i Papua Novu Gvineju smještene između Indijskog i Tihog oceana u toploj oceanskoj regiji poznatoj kao Tropski topli bazen), u Australiji, na Novom Zelandu, u područjima sjeverne Južne Amerike, dijelovima Sjeverne Amerike i Kariba, zapadnoj Africi, Sudanu, obalnim područjima koja se protežu od zapadne Libije do Egipta i na južnom Arapskom poluotoku uključujući UAE, Oman i Jemen u 2022. Početak indijskog monsona je bio raniji, a njegovo povlačenje dogodilo se kasnije nego što je uobičajeno. Stoga je veći dio indijskog potkontinenta imao visoku ukupnu količinu oborine, a monsun se proširio zapadnije nego inače prema Pakistanu, gdje su nastale velike poplave.

Regije s izraženim deficitom oborine u 2022. godini uključivale su: Europu, središnju Aziju, sjevernu Australiju, istočnu Afriku, većinu sjeverne Afrike, središnju i južnu Južnu Ameriku te središnju i zapadnu Sjevernu Ameriku. U istočnoj Africi oborine su bile ispod prosjeka u četiri uzastopne kišne sezone, što je najdulji slijed u 40 godina s prvim pokazateljima da bi i sezona 2022. mogla biti suša od prosjeka.

Osim što privremeno utječe na hlađenje globalne temperature, La Niña je često – iako ne uvijek – povezana s karakterističnim padanjima oborine. Neke od navedenih oborinskih anomalija u 2022. godini tipične su posljedice fenomena La Niña, a to su: sušniji od uobičajenih uvjeta u Patagoniji i na jugozapadu Sjeverne Amerike, a vlažniji nego inače u južnoj Africi, sjevernom dijelu Južne Amerike, Maritimnom kontinentu i istočnoj Australiji. I intenzivnije i dulje monsonske kiše u jugoistočnoj Aziji povezuju se s La Niñom. Pakistan ima iskustvo obilne kiše u srpnju i kolovoza. La Niña je također povezana sa sušnijim uvjetima od normalnih u istočnoj

heatwaves affected China and Europe during the summer, coupled with exceptionally dry conditions in some places. China had the most extensive and long-lasting heatwave on national record, extending from mid-June to the end of August and resulting in the hottest summer on record. It was also the second-driest summer on record, with most of the southern half of China (apart from Guangdong province) having seasonal rainfall 20% to 50% below average. The pre-monsoon period was exceptionally hot in India and Pakistan. Pakistan had its hottest March and hottest April on record. Colder than average conditions affected Canada, southern Africa, and southern South America, with Uruguay recording its coldest period from January to September since 1988. Cooler than average conditions in the tropical Pacific are associated with the ongoing La Niña, as are the warmer than average conditions in the area surrounding La Niña's "cold tongue", running from the north Pacific, along the western rim of the Pacific, and down into the south Pacific.

## 6.2 Precipitation

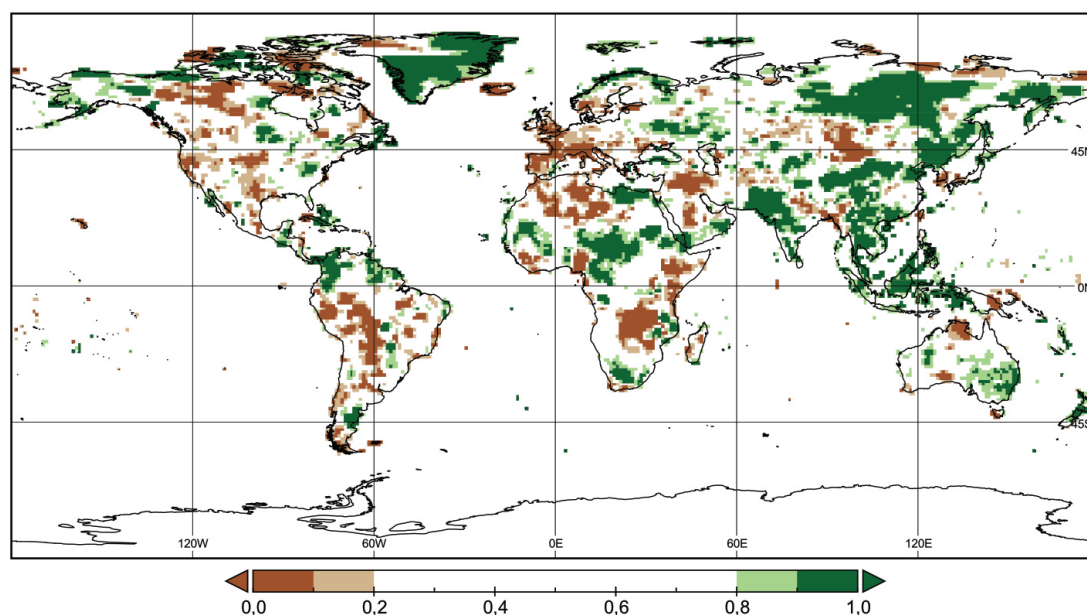
Compared to air temperature, precipitation was more variable in terms of time and space.

Precipitation totals in 2022 were above the multiannual average for the reference period 1951-2000 in northeast Asia, the western Indian summer monsoon region, southeast Asia, the Maritime Continent (including Indonesia, the Philippines and Papua New Guinea, among other countries, and located between the Indian and Pacific Oceans, within the warm ocean region known as the Tropical Warm Pool), Australia, New Zealand, areas of northern South America, parts of North America and the Caribbean, west Africa, Sudan, coastal areas extending from western Libya to Egypt, and the southern Arabian Peninsula including UAE, Oman and Yemen. Indian Monsoon onset in 2022 came earlier, and the withdrawal was later than normal. The majority of the Indian Subcontinent received high precipitation totals and the monsoon extended farther westward than usual towards Pakistan, where there was extensive flooding.

Regions with a marked rainfall deficit in 2022 included Europe, Central Asia, Northern Australia, Eastern Africa, most of North Africa, central and southern South America, and central and western North America. In eastern Africa, rainfall has been below average for four consecutive wet seasons, the longest sequence in 40 years, with early indications that the 2022 season could also be drier than average.

In addition to having a temporary cooling influence on global temperature, La Niña is often - though not always - associated with characteristic rainfall patterns. Some of the mentioned precipitation anomalies in 2022 are typical consequences of the La Niña phenomenon, including drier than usual conditions in Patagonia and southwest North America, and wetter than usual conditions in southern Africa, northern South America, the Maritime Continent and eastern Australia. More intense and longer monsoon rainfall in southeast Asia is also associated with La Niña. Pakistan experienced heavy rains in July and August. La Niña is also associated with

Quantiles, Reference 1951-2000, Jan-Sep 2022



Slika 6.3. Ukupna količina oborine od siječnja do rujna 2022., izražena kao percentil referentnog razdoblja 1951. – 2000., za područja koja bi pripadala 20 % najsuših (smeđe) i 20 % najkišovitijih (zeleno) godina tijekom referentnog razdoblja, s tamnijim nijansama smeđe i zelene koje označavaju pripadnost u najsuših i najvlažnijih 10 % godina. Izvor: Globalni klimatološki centar za oborine (GPCC), Deutscher Wetterdienst, Njemačka.

Figure 6.3. Total precipitation in Jan-Sep 2022, expressed as a percentile of the 1951-2000 reference period, for areas that would have been in the driest 20% (brown) and wettest 20% (green) of years during the reference period, with darker shades of brown and green indicating the driest and wettest 10%, respectively. Source: Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), Deutscher Wetterdienst, Germany.

Africi. U većem dijelu Kenije, Etiopije i Somalije bile su četiri uzastopne ispodprosječne sezone oborina. No La Niña nije posvuda povezana s nižim temperaturama. Na Novom Zelandu tipično se dovodi u vezu s toplim i vlažnim zračnim masama. Novi Zeland izvijestio je o svojem petom najtoplijem ljetu (2020./21.), praćenom drugom najtoplijom jeseni te najtoplijom i najvlažnijom zimom u povijesti. To je bila treća uzastopna zima koja je oborila temperaturni rekord.

Godina 2022. druga je uzastopna godina u kojoj je La Niña djelovala u kombinaciji s aktivnom negativnom fazom dipola Indijskog oceana (IOD) tijekom australske zime. Negativnu fazu IOD-a obilježavaju ispodprosječne temperature površine mora u zapadnom Indijskom oceanu i iznadprosječne temperature površine mora na istoku. Rezultirajuća promjena u gradijentu temperature površine mora preko oceanskog bazena utječe na vrijeme okolnih kontinenata, primarno na južnoj hemisferi. Tako je u 2022. godini negativna faza IOD-a u kombinaciji s La Niňom doprinijela vlažnim uvjetima u većem dijelu Australije u kasnoj australskoj zimi i u proljeće. Suprotno tomu negativan IOD, također u kombinaciji s La Niňom, pridonio je ekstremno sušnim uvjetima u istočnoj Africi.

### 6.3 Koncentracije stakleničkih plinova

Atmosferske koncentracije stakleničkih plinova rezultat su bilance između emisija koje nastaju ljudskim aktivnostima i prirodnih izvora te pohrane stakleničkih plinova u biosferu i oceane. Porast koncentracije stakle-

drier-than-normal conditions in eastern Africa. Most of Kenya, Ethiopia, and Somalia has experienced four consecutive below-average rainfall seasons. Although it typically reduces global temperature, La Niña is not associated with lower temperatures everywhere. In New Zealand it is typically associated with warm and wet air masses. The country reported its fifth warmest summer (2020/21), followed by its second warmest autumn and its warmest and wettest winter on record. This marked the third consecutive winter to break the temperature record.

The year 2022 is the second consecutive year in which La Niña operated in combination with an active negative phase of the Indian Ocean Dipole (IOD) during austral winter. The negative IOD phase is characterized by below-average sea-surface temperatures in the western Indian Ocean and above average sea-surface temperatures in the east. The resulting change in the gradient of sea-surface temperature across the ocean basin affects the weather of the surrounding continents, primarily in the Southern Hemisphere. In 2022, the negative IOD phase, in combination with La Niña, contributed to wet conditions across much of Australia in late austral winter and spring. Conversely, the negative IOD, again in combination with La Niña, contributed to the extreme dry conditions in eastern Africa.

### 6.3 Greenhouse gases concentrations

Atmospheric concentrations of greenhouse gases reflect a balance between emissions from human ac-

ničkih plinova zbog ljudskog djelovanja smatra se glavnim pokretačem klimatskih promjena od industrijske revolucije. Koncentracije stakleničkih plinova za globalnu ljestvicu izračunavaju se iz pojedinačnih mjerenja na mnogo lokacija u programu Globalnog praćenja atmosfere (GAW) WMO-a i partnerskih mreža.

Podaci u stvarnom vremenu s određenih lokacija, uključujući Mauna Lou (Havaji) i Kennaook / Cape Grim (Tasmanija), pokazuju da su CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> i N<sub>2</sub>O dosegнули rekordne razine u 2022. godini. U 2021., posljednjoj godini za koju su dostupni sređeni globalni podaci, atmosferske razine stakleničkih plinova dostigle su nove rekorde (slika 6.4), s globalno prosječnim prizemnim molnim udjelima za ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>) od 415,7 ± 0,2 dijela na milijun (ppm), metan (CH<sub>4</sub>) od 1908 ± 2 dijela na milijardu (ppb) i dušikov oksid (N<sub>2</sub>O) na 334,5 ± 0,1 ppb, redom 149 %, 262 % i 124 % od predindustrijskih razina iz 1750. godine. Godina 1750. može se koristiti (umjesto referentnog razdoblja 1850. – 1900.) za predstavljanje predindustrijskih koncentracija stakleničkih plinova jer se koncentracije stakleničkih plinova mogu procijeniti daleko u prošlost pomoću mjehurića plina zarobljenih u jezgrama leda.

Povećanje CO<sub>2</sub> od 2020. do 2021. bilo je jednako onom zabilježenom od 2019. do 2020., ali više od prosječne godišnje stope rasta tijekom posljednjeg desetljeća. Dok je dugoročni porast CO<sub>2</sub> posljedica ljudskih emisija, varijacije u stopi iz godine u godinu uvelike su povezane s prirodnom varijabilnosti ponora ugljika na kopnu i u oceanima. Rekordni godišnji porast u 2016. povezan je sa snažnim El Niňom 2015./16.

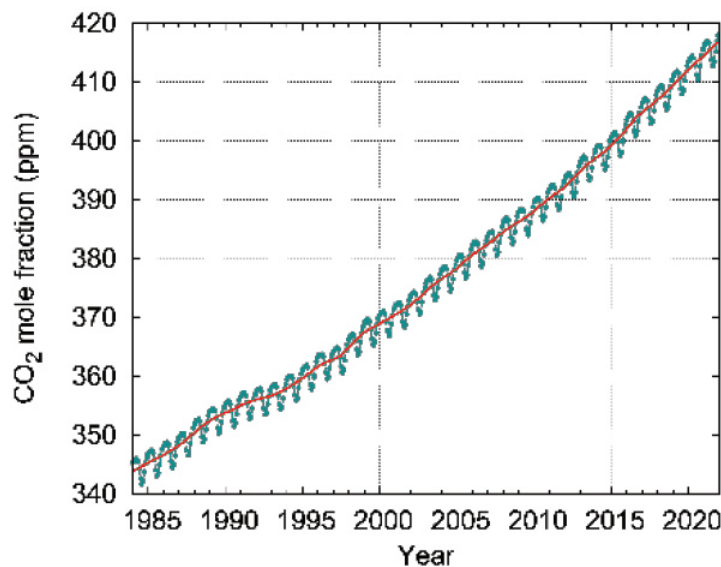
Godišnji porast CH<sub>4</sub> iznosio je 18 ppb od 2020. do 2021. To je najveći zabilježeni porast, a njegovi se uzroci još istražuju. Neka mjerenja atmosferskog opterećenja metanom (CH<sub>4</sub>) sugeriraju da najveći doprinos ponovnom porastu metana od 2007. dolazi od mikrobnih/bio-

activities, natural sources, and sinks in the biosphere and ocean. Increasing levels of greenhouse gases in the atmosphere due to human activities are considered to be the major driver of climate change since the industrial revolution. Global average mole fractions of greenhouse gases – the concentration in the atmosphere – are calculated from in situ observations made at multiple sites in the Global Atmosphere Watch (GAW) Programme of WMO and partner networks.

Real-time data from specific locations, including Mauna Loa (Hawaii) and Kennaook/Cape Grim (Tasmania) indicate that CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O levels reached record highs in 2022. In 2021 – the latest year for which consolidated global figures are available – atmospheric levels of greenhouse gases reached new highs with globally averaged surface mole fractions for carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) at 415.7 ± 0.2 parts per million (ppm), methane (CH<sub>4</sub>) at 1908 ± 2 parts per billion (ppb) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) at 334.5 ± 0.1 ppb, respectively, 149%, 262% and 124% of pre-industrial (1750) levels. The year 1750 can be used (instead of the reference period 1850-1900) to represent pre-industrial greenhouse gas concentrations because greenhouse gas concentrations can be estimated far back in time using gas bubbles trapped in ice cores.

The increase in CO<sub>2</sub> from 2020 to 2021 was equal to that observed from 2019 to 2020, but higher than the average annual growth rate over the last decade. While the multiannual increase in CO<sub>2</sub> is due to human emissions, year-to-year variations in the rate are largely associated with natural variability in the land and ocean carbon sinks. The record annual increase in 2016 was associated with the strong 2015/16 El Niňo.

The annual increase of CH<sub>4</sub> was 18 ppb from 2020 to 2021. This is the largest increase on record and its causes are still being investigated. Some measurements



Slika 6.4. Prosjek koncentracije CO<sub>2</sub> u globalnim razmjerima u ppm (parts per million) od 1984. do 2021. godine. Crvena linija prosječna je mjesečna molna frakcija bez sezonskih varijacija; plave točke i linija prikazuju mjesečne prosjeke (izvor: WMO Global Atmosphere Watch).

Figure 6.4. Globally averaged mole fraction (measure of atmospheric concentration), from 1984 to 2021, of CO<sub>2</sub> in parts per million (ppm). The red line is the monthly mean mole fraction with the seasonal variations removed; the blue dots and line show the monthly averages (source: WMO Global Atmosphere Watch).



genih izvora, ali relativne uloge antropogenih i prirodnih izvora nisu jasne. Popunjavanje praznina u promatranjima klimatski osjetljivih područja kao što su tropske močvare način je da se poboljša razumijevanje procesa koji pokreću promjene u stakleničkim plinovima i da se to znanje iskoristi za podršku učinkovitim strategijama ublažavanja koncentracija stakleničkih plinova.

## 6.4 Pohrana topline u oceane i porast morske razine

Porast emisija CO<sub>2</sub> i drugih stakleničkih plinova u atmosferi zbog ljudske aktivnosti uzrok je pozitivnoj radijacijskoj bilanci na vrhu atmosfere (engl. Earth Energy Imbalance – EEI). To dovodi do rasta količine topline u Zemljinu sustavu i time do globalnog zatopljenja. Oko 90 % te topline pohranjuje se u oceanima, što se mjeri sadržajem topline u oceanu (engl. Ocean Heat Content – OHC). Pozitivna Zemljina energetska neravnoteža signalizira da Zemljin klimatski sustav još reagira na aktualni utjecaj i da će doći do dodatnog zagrijavanja čak i ako se taj utjecaj ne bude dalje povećavao. Međuvladin panel o klimatskim promjenama (IPCC) zaključio je da je „gotovo sigurno da se globalni gornji ocean (0 – 700 m) zagrijao od 1970-ih i vrlo je vjerojatno da je ljudski utjecaj glavni pokretač“.

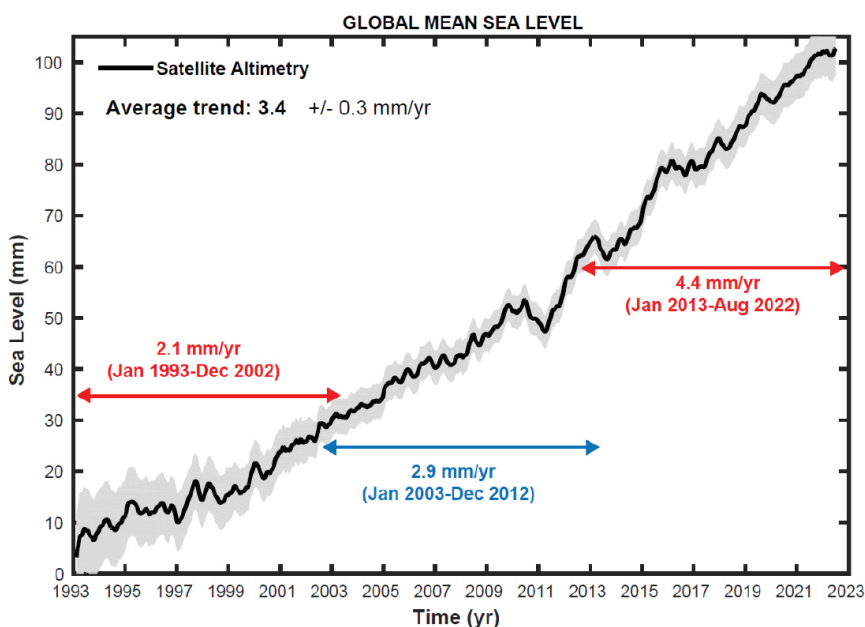
Gornjih 2000 m oceana nastavilo se zagrijavati u 2021. godini (posljednja godina za koju su dostupni srednji podaci) i očekuje se da će se zagrijavati u budućnosti – promjena koja je nepovratna na vremenskoj ljestvici od stoljeća do tisućljeća. Sadržaj topline oceana u 2021.

of atmospheric methane (CH<sub>4</sub>) burden suggest that the largest contribution to the renewed increase in methane since 2007 comes from microbial/biogenic sources, but the relative roles of anthropogenic and natural sources are unclear. Filling gaps in the observations in climate sensitive areas like tropical wetlands is a way to improve understanding of the processes that drive changes in greenhouse gases and to use this knowledge to support efficient mitigation strategies.

## 6.4 Ocean heat content and sea level rise

Increasing human emissions of CO<sub>2</sub> and other greenhouse gases cause a positive radiative imbalance at the top of the atmosphere – the Earth Energy Imbalance (EEI) – leading to an accumulation of energy in the form of heat in the Earth system, which is driving global warming. Around 90% of this accumulated heat in the Earth system is stored in the ocean, which is measured through Ocean Heat Content (OHC). A positive Earth Energy Imbalance signals that the Earth’s climate system is still responding to the current forcing and that more warming will occur even if the forcing does not increase further. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) concluded that “It is virtually certain that the global upper ocean (0–700 m) has warmed since the 1970s and extremely likely that human influence is the main driver.”

The upper 2000m of the ocean continued to warm in 2021 (the latest year for which consolidated figures are available) and is expected to continue to warm in the



Slika 6.5. Globalna promjena srednje razine mora od siječnja 1993. do kolovoza 2022. (crna krivulja) s povezanom nesigurnosti (osjenčano područje) na temelju satelitske altimetrije visoke preciznosti. Obojene horizontalne ravne linije predstavljaju prosječne linearne trendove u tri uzastopna vremenska razdoblja (od siječnja 1993. do prosinca 2002.; od siječnja 2003. do prosinca 2012.; od siječnja 2013. do kolovoza 2022.). (izvor: LEGOS; podaci iz AVISO altimetrije (<https://www.aviso.altimetry.fr>)).

Figure 6.5. Global mean sea level evolution from January 1993 to August 2022 (black curve) with associated uncertainty (shaded area) based on high-precision satellite altimetry. The horizontal, coloured straight lines represent the average linear trends over three successive time spans (January 1993 to December 2002; January 2003 to December 2012; January 2013 to August 2022). (source: LEGOS; data from AVISO altimetry (<https://www.aviso.altimetry.fr>)).



godini bio je najveći zabilježen premašivši vrijednost iz 2020. za  $14 \pm 9$  ZJ. Stope zagrijavanja oceana pokazuju posebno snažan porast u posljednja dva desetljeća. Brzina zagrijavanja oceana za sloj od 0 do 2000 m iznosila je  $0,6 \pm 0,1 \text{ Wm}^{-2}$  od 1971. do 2021., a  $1,0 \pm 0,1 \text{ Wm}^{-2}$  od 2006. do 2021.

Posljedično, globalne promjene srednje razine mora primarno su rezultat zagrijavanja oceana i toplinskog širenja morske vode te otapanja leda na kopnu. U 2022. godini globalna srednja razina mora (GMSL) nastavila je rasti (slika 6.5). Porast GMSL-a procjenjuje se na  $3,4 \pm 0,3 \text{ mm}\cdot\text{god}^{-1}$  tijekom 30 godina (1993. – 2022.) u kojima se provodi globalno satelitsko praćenje morske razine. No stopa rasta udvostručila se između prvog desetljeća njegova snimanja (1993. – 2002.) i zadnjeg (2013. – 2022.), tijekom kojih je stopa premašila  $4,4 \text{ mm}\cdot\text{god}^{-1}$ . Posljednjih je godina porast srednje razine mora sve brži zbog ubrzanog topljenja ledenjaka i ledenog pokrivača. Ubrzanje rasta GMSL-a procjenjuje se na  $0,12 \pm 0,05 \text{ mm}\cdot\text{god}^{-2}$  tijekom 30-godišnjeg razdoblja. GMSL se povećao za oko 5 mm između siječnja 2021. i kolovoza 2022. Od siječnja 2020. povećanje GMSL-a iznosi oko 10 mm, što je značajan dio porasta GMSL-a od 1993. (oko 100 mm) unatoč La Niña koja je u tijeku.

## 6.5 Arktik u 2022. godini

Kao i kod toplinskih valova i hladnih valova na kopnu, morski toplinski valovi (marine heatwaves – MHW) i morski hladni valovi (marine cold-spells – MCS) produljena su razdoblja ekstremne vrućine ili hladnoće u morima i oceanima koja mogu imati brojne posljedice za morski život i život o moru ovisne zajednice. MHW su postali češći tijekom 20. i 21. stoljeća, dok su MCS rjeđi.

No u 2022. godini prisutna La Niña i s njom povezano temperature površine mora niže od prosjeka označile su ekvatorijalni Pacifik kao jedno od rijetkih oceanskih područja široko pokriveno snažnim MCS-om tijekom 2022. godine do 17. listopada, dokad su dostupni podaci. Zabilježeno je i da je Južni ocean jedina regija u kojoj je MCS produljeno trajao. Na Arktiku Laptevsko i Beaufortovo more doživjelo je ozbiljne i ekstremne MHW-ove na sjevernoj hemisferi od proljeća do jeseni 2022. Rub leda sjeverno od Svalbarda i istočno od Rossova mora bio je obilježen značajnim ekstremnim MHW-ovima drugu godinu zaredom.

Površina arktičkog morskog leda bila je ispod višegodišnjeg prosjeka (1981. – 2010.) veći dio 2022. godine, s proljetnim maksimumom morskog leda od 14,59 milijuna  $\text{km}^2$  u ožujku 2022., koji je bio 0,84 milijuna  $\text{km}^2$  manji od višegodišnjeg prosjeka (slika 6.6). Rujanska površina morskog leda iznosila je 4,87 milijuna  $\text{km}^2$ , što je 1,54 milijuna  $\text{km}^2$  manje od višegodišnje srednje površine. No to označuje veću površinu leda od prosječnih minimalnih vrijednosti u posljednjem desetljeću, ali ujedno 11. najniži mjesečni minimum leda u satelitskom zapisu. Najmanja dnevna površina u godini 2022., 4,67 milijuna  $\text{km}^2$ , zabilježena je oko 18. rujna i bila je deveta ili deseta najniža godišnja minimalna dnevna dosad zabilježena površina.

Ukupna bilanca mase ledenog pokrivača arktičkog otoka Grenlanda zbroj je triju komponenata: bilance površinske mase, bilance morske mase i bazalne bilan-

future – a change which is irreversible on centennial to millennial time scales. The ocean heat content in 2021 was the highest on record, exceeding the 2020 value by  $14 \pm 9$  ZJ. Ocean warming rates show a particularly strong increase in the past two decades. The rate of ocean warming for the 0-2000 m layer was  $0.6 \pm 0.1 \text{ Wm}^{-2}$  from 1971-2021, but  $1.0 \pm 0.1 \text{ Wm}^{-2}$  from 2006-2021.

Consequently, global mean sea level changes primarily result from ocean warming via thermal expansion of sea water and land ice melt. In 2022, global mean sea level (GMSL) continued to rise (Figure 6.5). The GMSL rise is estimated to be  $3.4 \pm 0.3 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$  over the 30 years (1993-2022) of the satellite altimeter record, but the rate has doubled between the first decade of the record (1993-2002) and the last (2013-2022), during which the rate exceeded  $4.4 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ . In recent years, the rise of the mean sea level has been faster due to the accelerated melting of glaciers and ice sheets. The GMSL acceleration is estimated to be  $0.12 \pm 0.05 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-2}$  over the 30-year period. GMSL increased by about 5 mm between January 2021 and August 2022. Since January 2020, the increase in GMSL amounts to around 10 mm, a substantial fraction of the GMSL rise since 1993 (around 100 mm), despite the ongoing La Niña.

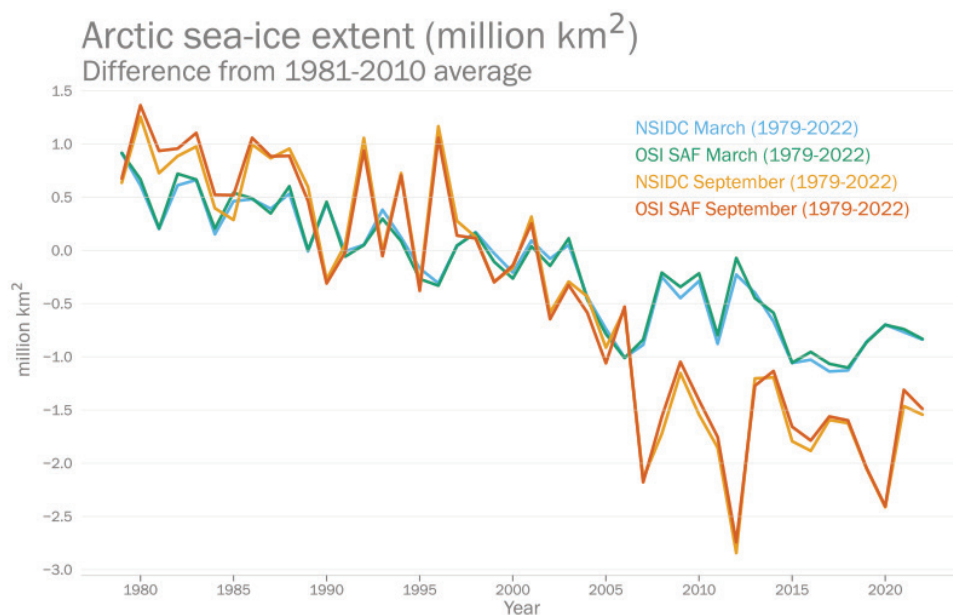
## 6.5 The Arctic in 2022

Like heatwaves and cold spells on land, marine heatwaves (MHW) and marine cold-spells (MCS) are prolonged periods of extreme heat or cold in the seas and oceans that can have a range of consequences for marine life and dependent communities. MHWs have become more frequent over the 20<sup>th</sup> and 21<sup>st</sup> century while MCSs have become less frequent.

The ongoing La Niña and associated lower-than-average sea-surface temperatures mean that the equatorial Pacific is one of the few ocean regions to see wide-spread coverage of strong MCS over 2022 to 17 October (the date until which data is available). The Southern Ocean is, however, the only region in which MCSs have seen a multiannual increase in duration. In the Arctic, the Laptev and Beaufort Seas experienced severe and extreme MHWs from northern hemisphere spring to autumn of 2022. The ice-edge to the north of Svalbard and east of the Ross Sea experienced notable extreme MHWs for the second consecutive year.

Arctic sea-ice extent was below the multiannual (1981-2010) average for most of the year, with a spring sea-ice maximum of 14.59 million  $\text{km}^2$  in March 2022, 0.84 million  $\text{km}^2$  below the multiannual mean (Figure 6.6). The September extent was 4.87 million  $\text{km}^2$ , 1.54 million  $\text{km}^2$  below the multiannual mean extent. This represents greater ice extent than the average minimum values of the last decade, but it is tied for the 11<sup>th</sup> lowest monthly minimum ice extent in the satellite record. The smallest daily extent of the year, 4.67 million  $\text{km}^2$ , occurred around 18 September and was the 9<sup>th</sup> or 10<sup>th</sup> lowest annual-minimum daily extent on record.

The total mass balance of the arctic island of Greenland ice sheet is the sum of three components: the surface mass balance, the marine mass balance and



Slika 6.6. Anomalije veličine morskog leda (u odnosu na prosjek 1981. – 2010.) od 1979. do 2022. za Arktik. Plave i zelene linije označavaju anomalije u godišnjoj maksimalnoj površini leda (ožujak za Arktik i rujan za Antarktiku), a narančaste i crvene odgovaraju godišnjoj minimalnoj površini leda (rujan za Arktik i veljača za Antarktiku). Podaci iz EUMETSAT OSI SAF v2p1 i Nacionalnog centra za podatke o snijegu i ledu (NSIDC) v3 (Fetterer i sur., 2017).

Figure 6.6. Sea ice extent anomalies (relative to the 1981-2010 average) from 1979 to 2022 for the Arctic. Blue and green lines indicate the anomalies in annual maximum ice extent (March for the Arctic and September for the Antarctic) and orange and red correspond to the annual minimum ice extent (September for the Arctic and February for the Antarctic). Data from EUMETSAT OSI SAF v2p1 and National Snow and Ice Data Centre (NSIDC) v3 (Fetterer et al., 2017).

ce mase. Površinska ravnoteža mase razlika je između nakupljanja snijega i otjecanja otopljene vode s ledenog pokrova. Bilanca morske mase gubitak je mase na rubu ledene ploče zbog cijepanja ledenih santi i otapanja jezičaka ledenjaka u dodiru s oceanom. Bazalna ravnoteža mase sastoji se od topljenja na sloju ledene ploče.

Za Grenland procijenjena ukupna bilanca mase bila je -85 Gt, što označuje neto gubitak leda tijekom godine bilance mase 2022. (1. rujna 2021. – 31. kolovoza 2022.). Godine 2022. grenlandski ledeni pokrivač završio je s ravnotežom površinske mase od oko 423 Gt, što je deseta najveća vrijednost u skupu podataka koji sežu do 1980. godine. Unatoč tomu grenlandski ledeni pokrivač završio je s negativnom ukupnom bilancom mase 26. godinu zaredom, uglavnom zbog snažne negativne bilance morske mase od -486 Gt.

Sezone otapanja i ablacije na Grenlandu započele su kasno u 2022. godini, a ljetno je bilo relativno svježije u usporedbi s posljednjim godinama. Međutim, pojavilo se razdoblje visokih temperatura krajem srpnja 2022. s intenzivnim površinskim topljenjem velikih dijelova ledene ploče i velikim gubicima leda tijekom nekoliko dana. Rujan 2022. također je bio iznimno topao s prostorno raširenim i općenito visokim pozitivnim temperaturnim anomalijama uz rašireno topljenje rano u rujnu. Summit Station, najviša točka na Grenlandu (3200 m), imala je najtopliji zabilježen rujn (od 1991.) i iskusila je uvjete topljenja 3. rujna 2022., što je prvi put da je topljenje registrirano na tom mjestu u rujnu. Kasnije u rujnu jaka kiša povezana s posttropskim ciklonom Fiona pala je na ledenu ploču, također prva zabilježena u rujnu.

the basal mass balance. The surface mass balance is the difference between snow accumulation and meltwater runoff from the ice sheet. The marine mass balance is the mass loss at the edge of the ice sheet from the calving of icebergs and the melting of glacier tongues in contact with the ocean. Basal mass balance consists of melting at the ice sheet bed.

The estimated total mass balance for Greenland was -85 Gt, representing a net ice loss during the 2022 mass balance year (1 September 2021-31 August 2022). In 2022, the Greenland ice sheet ended with a surface mass balance of about 423 Gt, which is the 10<sup>th</sup> highest value in the dataset that goes back to 1980. Nevertheless, the Greenland Ice Sheet ended with a negative total mass balance for the 26<sup>th</sup> year in a row, mainly due to the strong negative marine mass balance of -486 Gt.

The melting and ablation seasons in Greenland began late in 2022 and the summer was relatively cool compared with recent years. However, there was a period of high temperatures at the end of July 2022, with intense surface melt over large parts of the ice sheet and large ice losses over a few days. September 2022 was also extraordinarily warm, with widespread and generally high positive temperature anomalies along with widespread melting early in the month. Summit Station, the highest point in Greenland (3200 m), had its warmest September on record (since 1991) and experienced melting conditions on 3 September 2022, the first time melting has been registered at this site in September. Later in September, heavy rain associated with post-tropical cyclone Fiona fell on the ice sheet, also a first for September.

## 6.6 Literatura

Fetterer, F., K. Knowles, W. N. Meier, M. Savoie, and A. K. Windnagel. 2017, updated daily. Sea Ice Index, Version 3. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. doi: <https://doi.org/10.7265/N5K072F8>. Accessed Oct. 2021.

WMO, 2023: Provisional State of the Global Climate, 2022.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability,

<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>.

## 6.6 References

Fetterer, F., K. Knowles, W. N. Meier, M. Savoie, and A. K. Windnagel. 2017, updated daily. Sea Ice Index, Version 3. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. doi: <https://doi.org/10.7265/N5K072F8>. Accessed Oct. 2021.

WMO, 2023: Provisional State of the Global Climate, 2022.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2023: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability,

<https://www.ipcc.ch/eport/sixth-assessment-report-working-group-ii/>.